

**Estudo da viabilidade de utilização de granulados de cortiça na  
formulação de substratos para cultivo sem solo**

**Leonor Ramos Cabral**

Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em

**Engenharia Agronómica**

Orientador: Professor Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

**Júri:**

Presidente: Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Vogais: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor Jorge Manuel Barros d'Almeida Gominho, Técnico superior do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

## Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram para o meu percurso académico no Instituto Superior de Agronomia e em especial para a elaboração desta dissertação:

Ao Instituto Superior de Agronomia, local onde se realizou este estudo.

Ao professor Henrique Ribeiro, por me orientar ao longo da realização deste trabalho, pela disponibilidade demonstrada e ajuda ao longo de todo o percurso.

Ao engenheiro Miguel Martins, do Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas do ISA, à Daniela Freitas e Catarina Chemetova Oliveira, pelo apoio ao longo dos procedimentos experimentais.

À Equipar – Indústria de Cortiça, S.A., pela disponibilidade em ceder amostras de resíduos de cortiça essenciais ao trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos pelo apoio e boa companhia ao longo desta etapa.

Por fim, à minha família pelas possibilidades de realizar esta etapa, bem como, pela educação e todo o apoio que sempre me deram.

Este trabalho foi executado no âmbito do Projeto/Grupo Operacional “Desenvolvimento de estratégias integradas para prevenção do Cancro-resinoso-do-pinheiro (+PrevCRP), financiado pelo PDR 2020 (Operação 1.0.1 - Grupos Operacionais; Anúncio de abertura nº 01; Ação 1.1/2016; Candidatura nº PDR2020-101-031058; Parceria nº 112; Iniciativa nº 237).

## Resumo

A turfa é o principal componente dos substratos para cultivo sem solo. Contudo, a sua extração e utilização provocam sérios problemas ambientais, não sendo ambientalmente sustentável. Neste contexto, pretende-se avaliar a viabilidade da utilização de resíduos da indústria corticeira (granulados de cortiça ADT) na formulação de substratos e testar um tratamento hidrotérmico na remoção da fitotoxicidade deste granulado.

Obtiveram-se quatro granulados de cortiça distintos: ADT1 (granulometria 0,5-1,0 mm), ADT1T (ADT1 sujeito ao tratamento hidrotérmico), ADT2 (granulometria 1,0-2,0 mm) e ADT2T (ADT2 sujeito ao tratamento hidrotérmico). Formularam-se 16 substratos contendo diferentes proporções (em volume) de turfa e dos quatro granulados ADT: 100:0; 90:10; 75:25 e 50:50.

O tratamento hidrotérmico realizou-se num digestor, com as seguintes condições: razão água /granulado ADT de 1/1 (v v<sup>-1</sup>); temperatura da água de 100°C e duração do processo de 60 minutos.

Os granulados de cortiça ADT mostraram-se tóxicos, tendo reduzido o crescimento das raízes de agrião-de-jardim (*Lepidium sativum* L.) e da couve-chinesa (*Brassica rapa*, ssp. *Pekinensis*). O granulado ADT de menor granulometria (0,5-1,0 mm) apresentou uma toxicidade mais elevada, que foi reduzida com o tratamento.

Os granulados de cortiça afetaram significativamente as propriedades físicas da turfa, reduzindo a retenção de água dos substratos e aumentando o seu arejamento a pF 1 (superior no granulado ADT de maior granulometria (1,0-2,0 mm)) pelo que os granulados de cortiça têm potencial para serem “arejadores” de substratos.

Os granulados de cortiça apresentam elevados teores de potássio extraível, sendo a disponibilidade de nutrientes superior no granulado de menor granulometria. O tratamento hidrotérmico reduziu o teor de nutrientes disponíveis, provocando uma “lavagem” do granulado ADT. Esta redução não foi observada na composição mineral da couve-chinesa pois os substratos foram fertilizados com uma solução nutritiva.

A utilização de granulados de cortiça (1,0-2,0 mm não tratado ou 0,5-1,0 mm tratado) permitiu reduzir até 25% (em volume) a quantidade de turfa nos substratos formulados, sem afetar a produção.

Palavras-chave: Substrato, Resíduos de cortiça, Granulado ADT, Tratamento hidrotérmico.

## Abstract

Peat is the main component present in substrates for soilless cultivation, however its extraction has negative ecological impacts. The present work aims to evaluate the viability of a cork industry's residue – cork granulate (ADT) – as substrate component for nurseries/potted plants, as well as testing the application of a hydrothermal treatment to remove phytotoxicity present in ADT.

Four types of cork granulate were used: ADT 1 (0,5-1,0 mm particle size), ADT 1T (ADT 1 submitted to a hydrothermal treatment), ADT 2 (1,0-2,0 mm particle size), ADT 2T (ADT 2 submitted to a hydrothermal treatment). 16 substrates with different mixtures between peat and the four types of ADT were developed, in the following volume proportions: 100:0; 90:10; 75:25 and 50:50.

The hydrothermal treatment was performed using a digester, was used the ratio water/cork granulates of 1:1 (v v<sup>-1</sup>). The water temperature was set to 100°C and 60 minutes for the duration of the treatment.

The cork granulates were shown to be toxic and reduced the radicular growth of the watercress (*Lepidium sativum* L.) and the growth of the Chinese cabbage (*Brassica rapa*, spp. *Pekinensis*). The ADT with a smaller size (0,5-1,0 mm) had the highest toxicity, but the hydrothermal treatment was able to significantly reduce it.

The cork granulates significantly affected the peat physical properties, reducing the substrates water retention and increasing its aeration (higher when using ADT with a bigger particle size (1,0-2,0 mm)), therefore the ADT granulates can be used to improve substrate aeration.

The cork granulates have a high potassium content and the nutrient availability is higher on the cork granulates with a smaller particle size. The hydrothermal treatment reduced the nutrient availability, since it “washes” the cork granulates. This reduction was not observed in the Chinese cabbage chemical composition, since every substrate was fertilized with a nutrient solution.

The usage of ADT granulates (1,0-2,0 mm non-treated or 0,5-1,0 mm treated) can reduce the peat usage up to 25% (volume) without affecting the production.

Key-words: Substrate, Cork residue, ADT, Hydrothermal treatment.

## Lista de abreviaturas

ADT: Alta densidade de terras

ADT 1: Granulado ADT de granulometria 0,5-1,0mm

ADT 1T: ADT 1 sujeito ao tratamento hidrotérmico

ADT 2: Granulado ADT de granulometria 1,0-2,0mm

ADT 2T: ADT 2 sujeito ao tratamento hidrotérmico

MLV: Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa

N: Azoto Mineral

N-N<sup>4+</sup>: Azoto amoniacal

N-NO<sup>3-</sup>: Azoto Nítrico

P: Fósforo

K: Potássio

Ca: Cálcio

Mg: Magnésio

Na: Sódio

Fe: Ferro

Mn: Manganês

Zn: Zinco

Cu: Cobre

B: Boro

## Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Lista de abreviaturas .....	iv
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Quadros .....	viii
1    Introdução .....	1
2    Revisão Bibliográfica.....	2
2.1    Substratos para cultivo sem solo.....	2
2.1.1    Propriedades físicas dos substratos.....	3
2.1.2    Propriedades químicas dos substratos.....	6
2.1.3    Propriedades biológicas dos substratos .....	8
2.2    Turfa .....	8
2.3    Economia circular.....	10
2.4    Cortiça.....	11
2.4.1    Sobreiro ( <i>Quercus suber</i> L.).....	11
2.4.2    Produção e transformação da cortiça .....	12
2.4.3    Resíduos da indústria corticeira .....	14
2.4.4    Utilização de cortiça como substrato .....	14
2.5    Tratamento hidrotérmico para remoção da fitotoxicidade .....	15
3    Material e métodos.....	16
3.1    Matérias-primas utilizadas na formulação dos substratos .....	16
3.1.1    Turfa .....	16
3.1.2    Granulado ADT (Alta Densidade de Terras).....	16
17	
3.2    Formulação dos substratos .....	18
3.3    Tratamento hidrotérmico .....	18

3.4	Caracterização das matérias-primas e dos substratos .....	19
3.4.1	Características físicas .....	19
3.4.2	Características químicas .....	21
3.4.3	Teste da fitotoxicidade .....	21
3.5	Ensaio em vasos com couve-chinesa .....	22
3.5.1	Análise do material vegetal .....	24
3.6	Delineamento experimental e tratamento estatístico .....	25
4	Resultados e discussão.....	26
4.1	Características das matérias-primas .....	26
4.1.1	Propriedades físicas.....	26
4.1.2	Características químicas .....	28
4.1.3	Teste de fitotoxicidade .....	30
4.2	Características dos substratos .....	31
4.2.1	Propriedades físicas.....	31
4.2.2	Propriedades químicas.....	36
4.2.3	Teste de Fitotoxicidade .....	42
4.3	Ensaio couve-chinesa .....	45
4.3.1	Germinação e crescimento das plantas .....	45
4.3.2	Composição mineral e quantidades exportadas pela parte aérea das plantas	49
5	Conclusões .....	54
6	Referências.....	56
Anexo I	.....	i

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Curva de libertação de água de um substrato (adaptado de De Boodt e Verdonck, 1972).....	5
<b>Figura 2:</b> Distribuição do sobreiro em Portugal continental Adaptado de: Silva (2007). .....	12
<b>Figura 3:</b> Granulado ADT de granulometria 0,5-1 mm (esq.) e 1,0-2,0 mm (Dir.).....	17
<b>Figura 4:</b> Granulado ADT de granulometria 0,5-1 mm (esq.) e 1,0-2,0 mm (Dir.), após o tratamento hidrotérmico.....	17
<b>Figura 5:</b> Digestor (MK Systems Inc). .....	19
<b>Figura 6:</b> Cilindros preenchido, colocados na caixa de areia (Eijkelkamp Soil e Water).....	20
<b>Figura 7:</b> Disposição dos vasos na estufa, 24h após a sementeira.....	23
<b>Figura 8:</b> Vasos referência para a avaliação visual do desenvolvimento das raízes (1- desenvolvimento radicular baixo; 3- desenvolvimento radicular médio; 5- desenvolvimento radicular alto). .....	24
<b>Figura 9:</b> Repetição do teste de fitotoxicidade aos substratos. ....	44
<b>Figura 10:</b> Vasos com plantas de couve-chinesa nos diferentes substratos com ADT de 0,5-1,0 mm, 25 dias após a sementeira, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).....	48
<b>Figura 11:</b> Vasos com plantas de couve-chinesa nos diferentes substratos com ADT de 1,0-2,0 mm 25 dias após a sementeira, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).....	48



## Índice de Quadros

<b>Quadro 1:</b> Composição dos substratos formulados. ....	18
<b>Quadro 2:</b> Reagentes utilizados ( $\text{mg L}^{-1}$ de substrato) e quantidade de nutrientes aplicadas ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ de substrato) aos substratos.....	23
<b>Quadro 3:</b> Massa volúmica aparente e porosidade total da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).....	26
<b>Quadro 4:</b> Retenção de água a pF 1; pF 1,7; pF 2 da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento). ....	27
<b>Quadro 5:</b> Arejamento a pF 1, água facilmente disponível, água de reserva e água disponível da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).....	27
<b>Quadro 6:</b> pH e condutividade elétrica (CE) no extrato aquoso 1:5 (v/v) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento)..	28
<b>Quadro 7:</b> Teor de azoto amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e azoto nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ) no extrato aquoso 1:5 ( $\text{v v}^{-1}$ ) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).....	28
<b>Quadro 8:</b> Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) no extrato aquoso 1:5 ( $\text{v v}^{-1}$ ) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento). ....	29
<b>Quadro 9:</b> Teores de ferro (Fe), boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) no extrato aquoso 1:5 ( $\text{v v}^{-1}$ ) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento). ....	30
<b>Quadro 10:</b> Índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLV) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento). ....	31

<b>Quadro 11:</b> Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na massa volúmica aparente, porosidade total e contratilidade dos substratos. ....	32
<b>Quadro 12:</b> Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na massa volúmica aparente, porosidade total e contratilidade dos substratos. ....	32
<b>Quadro 13:</b> Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na retenção de água a pF 1, pF 1,7 e pF 2 dos substratos. ....	33
<b>Quadro 14:</b> Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na retenção de água a pF 1, pF 1,7 e pF 2 dos substratos. ....	34
<b>Quadro 15:</b> Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no arejamento a pF 1, água disponível, água facilmente disponível e água de reserva dos substratos. ....	35
<b>Quadro 16:</b> Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no arejamento a pF 1, água disponível, água facilmente disponível e água de reserva dos substratos. ....	36
<b>Quadro 17:</b> Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no pH e condutividade elétrica (CE) dos substratos. ..	37
<b>Quadro 18:</b> Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no pH e condutividade elétrica (CE) dos substratos. ....	38
<b>Quadro 19:</b> Efeito dos (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) extraíveis com água (1:5 em volume) dos substratos. ....	38
<b>Quadro 20:</b> Efeito das interações a 3 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) extraível com água (1:5 em volume) dos substratos. ....	39
<b>Quadro 21:</b> Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores cálcio (Ca) extraível com água (1:5 em volume) dos substratos. ....	40
<b>Quadro 22:</b> Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores de ferro (Fe), boro (B), Manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) dos substratos. ....	42

<b>Quadro 23:</b> Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores de ferro (Fe), boro (B), Manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) dos substratos. ....	42
<b>Quadro 24:</b> Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade Munoo-Liisa (MLV) dos substratos. ....	43
<b>Quadro 25:</b> Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade Munoo-Liisa (MLV) dos substratos. ....	44
<b>Quadro 26:</b> Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na taxa de germinação dos substratos. ....	45
<b>Quadro 27:</b> Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na taxa de germinação dos substratos. ....	45
<b>Quadro 28:</b> Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos valores médios para caracterizar o crescimento da couve-chinesa: peso fresco da parte aérea (PF por vaso e por planta), peso seco da parte aérea (PF por vaso e por planta) e a avaliação visual da raiz. ....	46
<b>Quadro 29:</b> Efeito das interação a 3 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos valores médios para caracterizar o crescimento da couve-chinesa: peso fresco da parte aérea (PF por vaso e por planta), peso seco da parte aérea (PF por vaso e planta). ....	47
<b>Quadro 30:</b> Teor médio de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca). ....	50
<b>Quadro 31:</b> Teor médio de ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (mg por kg de matéria seca). ....	51
<b>Quadro 32:</b> Teor médio de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) extraídos por cada vaso (g vaso <sup>-1</sup> ). ....	52
<b>Quadro 33:</b> Teor médio de ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) extraídos por cada vaso (mg vaso <sup>-1</sup> ). ....	53

# 1 Introdução

O cultivo em substrato é considerado uma mais valia para a produção de plantas, permitindo um melhor controlo da disponibilidade tanto de água como de nutrientes, levando a um bom desenvolvimento radicular e ao aumento da produtividade, evitando assim o uso excessivo do solo (Landis, 2014).

Devido às suas propriedades únicas, a turfa é o principal componente dos substratos usados na produção de uma vasta panóplia de plantas, incluindo espécies florestais, ornamentais e hortícolas. Porém a sua sustentabilidade é questionável, pois a exploração das turfeiras, para além da destruição deste habitat, origina a libertação de dióxido de carbono e outros gases para a atmosfera, contribuindo para o aumento do efeito de estufa. Adicionalmente, como é um produto importado aumenta o seu custo e a dependência de países terceiros. O aumento da necessidade de substrato, aliado ao aumento da consciencialização ambiental, tem incentivado a descoberta de substratos alternativos (Robertson, 1993).

Tem-se investigado alternativas, ambiental e economicamente viáveis à turfa, concentrando-se a procura em materiais locais e facilmente disponíveis, como a utilização de subprodutos com baixo valor económico ou resíduos industriais, de modo a reduzir a percentagem de turfa utilizada nos substratos (Sterrett, 2005) diminuindo o impacto causado pela sua extração e reduzindo a acumulação de resíduos.

A cortiça é um tecido vegetal 100% natural, sendo extraída do sobreiro (*Quercus suber* L.) sem o danificar e é usada principalmente no fabrico de rolhas. O montado, no qual se inserem os sobreiros, é considerado um santuário de biodiversidade, fixando cerca de 14 Mt de dióxido de carbono por ano. Atualmente, Portugal é o maior produtor, transformador e exportador de cortiça (APCOR, 2019).

No seu processo de transformação, a cortiça de pior qualidade é rejeitada, para não influenciar negativamente a qualidade das rolhas, originando assim um conjunto de resíduos/excedentes.

O granulado ADT (Alta Densidade de Terras) é um resíduo da indústria corticeira, que está disponível a baixo custo e é ambientalmente sustentável. Adicionalmente permite diminuir a necessidade de importação de países terceiros, visto tratar-se de um excedente nacional. Este granulado tem como principal desvantagem a presença de compostos fitotóxicos (Silva, 2018).

O presente trabalho, surge em continuidade do trabalho de Silva (2018) e pretende avaliar a possibilidade de utilização do granulado ADT na formulação de substratos para a produção

de plantas sem solo. Para tal, utilizou-se granulado de duas granulometrias distintas, cedido pela empresa Equipar – Indústria de Cortiça, S.A.

Adicionalmente, para reduzir a fitotoxicidade do granulado ADT, testou-se a aplicação de um tratamento hidrotérmico, semelhante ao descrito por Ortega (1996) e Chemetova *et al.* (2017). Este método de tratamento poderá ser utilizado pela indústria corticeira, para que o granulado ADT possa ser comercializado como substrato.

Os substratos foram formulados com uma combinação de diferentes percentagens de turfa conjugado com diferentes tipos de granulado ADT.

Avaliou-se o efeito do granulado de cortiça e do tratamento hidrotérmico nas propriedades físicas e químicas dos substratos obtidos, bem como a sua influência na germinação e crescimento radicular do agrião e no crescimento e composição da couve-chinesa.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Substratos para cultivo sem solo

O objetivo do cultivo em substrato é a produção de plantas de qualidade no menor período de tempo, com custos de produção reduzidos (Abad *et al.*, 1992).

A produção de plantas em substrato, quando comparada com a produção no solo, apresenta diferenças significativas em relação ao sistema radicular, pois no substrato as raízes estão confinadas a um recipiente e a dimensão das partículas é geralmente superior quando comparado com o solo.

Segundo Brito e Mourão (2012), os substratos são materiais naturais ou artificiais que diferem do solo, podendo ter origem mineral, orgânica ou sintética. De modo a obter as características pretendidas, os substratos são normalmente constituídos por misturas destes materiais. O substrato tem o objetivo de fixar as plantas e de suprir as suas necessidades de água, ar e nutrientes.

Apesar de não existir um substrato ideal para todas as espécies (Abad *et al.*, 2001), este deve ter um bom arejamento, elevada porosidade, permeabilidade e agregação, boa capacidade de retenção de água, permitir boa desinfeção e estar isento de infestantes (Ferreira, 1991).

Para obter um bom sistema radicular é necessário caracterizar o substrato tendo em conta as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Apesar de se dever adaptar o substrato à

planta, ao longo do tempo foram-se definindo padrões ideais que devem estar presentes nos substratos (Schmitz *et al.*, 2002).

### 2.1.1 Propriedades físicas dos substratos

Segundo Lemaire (1995), os substratos apresentam 3 fases: fase sólida (suporta o sistema radicular), fase líquida (fornece água e nutrientes) e fase gasosa (assegura o transporte de oxigénio e dióxido de carbono entre as raízes e o exterior), devendo haver um equilíbrio entre as três.

Em relação às propriedades do substrato, as físicas são consideradas as mais importantes, pois são difíceis de alterar e devem ser decisivas para a sua escolha (Carmona, 1998). Segundo Wilson (1984), as propriedades com maior importância são a granulometria e a porosidade total e segundo De Boodt e Verdonck (1972), um bom substrato deve ter uma capacidade de retenção de água e arejamento elevados.

#### *Granulometria*

A granulometria corresponde à dimensão e distribuição das partículas. É a característica que determina o número e volume das partículas, influenciando a quantidade de água e ar nos substratos. As partículas de maior dimensão denominam-se macroporos (ocupados por ar) e as de menor dimensão denominam-se microporos (ocupados por água), sendo por isso importante uma mistura entre ambos os tamanhos.

Segundo Bunt (1983), as partículas com diâmetro acima de 0,5 mm têm pouca influência tanto na porosidade total como na água facilmente disponível, enquanto as partículas entre 0,1 a 0,25 mm causam o efeito oposto. O substrato deve ser composto por partículas de dimensões diferentes de modo a otimizar o meio de cultivo (Verdonck e Demeyer, 2004) e a granulometria deverá ser ajustada consoante o recipiente em que se irá cultivar.

Segundo Abad *et al.* (2004) a distribuição ideal das partículas encontra-se entre 0,25 e 2,5 mm, de modo a ter uma boa relação entre o fornecimento de água e de arejamento.

#### *Porosidade total*

A porosidade total é a percentagem do volume total que o substrato ocupa no recipiente, sendo definido como o volume combinado das fases líquida e gasosa. Está relacionado com o tamanho, forma e distribuição das partículas, isto é, com a granulometria e com a densidade (Wallach, 2008).

A porosidade total é responsável pelo arejamento e pela capacidade de retenção de água que correspondem, respetivamente, à porosidade ocupada pelo ar e pela água (Brito e Mourão, 2012).

Segundo De Boodt e Verdonck (1972) o substrato deverá ter idealmente uma porosidade total de 85%.

#### *Densidade aparente*

A densidade aparente do substrato é definida como matéria seca por unidade de volume, sendo expressa em  $\text{g cm}^{-3}$ . Todos os métodos para a sua determinação recorrem ao mesmo princípio, o material humedecido é deixado em repouso ou comprimido com uma pressão pré-determinada num recipiente cujo volume é conhecido, seguidamente é seco e pesado (Wallach, 2008).

A densidade parente é inversamente proporcional à porosidade, o seu aumento poderá reduzir o crescimento das raízes (Brito e Mourão, 2012). Porém uma baixa densidade aparente prejudica a estabilidade do recipiente, fator importante quando a produção é ao ar livre (Wallach, 2008). Segundo Reis (2009), o valor da densidade aparente deverá ser inferior a  $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ , enquanto Abad (2004) sugere um valor de  $0,15 \text{ g cm}^{-3}$  para produção em estufa.

#### *Arejamento*

Os macroporos são responsáveis pelo arejamento do substrato, têm um papel importante no desenvolvimento do sistema radicular, permitindo trocas gasosas que ocorrem nas raízes.

O arejamento pode ser definido de diversas maneiras. Segundo Wallach (2008) corresponde à percentagem volumétrica de ar num substrato após a drenagem livre, isto é, após o escoamento da água pela força gravitacional. Segundo De Boodt e Verdonck (1984) é definido como a diferença entre a porosidade total e a água retida a 10 cm (ou -1 kPa) de tensão (figura 1).

Os intervalos de valores recomendados variam consoante o autor, podendo ser explicados pela diferente tolerância das plantas a níveis baixos de arejamento e pelos diferentes métodos de determinação deste parâmetro (Miner, 1994). Segundo Wallach (2008) o valor ideal situa-se entre 10-30%, de acordo com De Boodt e Verdonck (1972) é de 40% e Bunt (1983) está entre 10 a 15%.

#### *Capacidade de retenção de água*

A capacidade de retenção de água corresponde à capacidade do substrato em reter água nos microporos através da força de adesão às partículas, está relacionada com a porosidade total. Caso o substrato seja composto na sua maioria por macroporos, a água não consegue ficar retida. Caso seja por microporos a água fica fortemente retida no substrato e as plantas não a conseguem extrair (Brito e Mourão, 2012).

Consoante o tipo de porosidade, as forças de retenção de água serão maiores ou menores, influenciando a facilidade de a planta extrair água presente no substrato. De modo a quantificar esta facilidade utilizam-se os seguintes termos, resumidos na figura 1 (De Boodt e Verdonck, 1972 e Brito e Mourão, 2012):

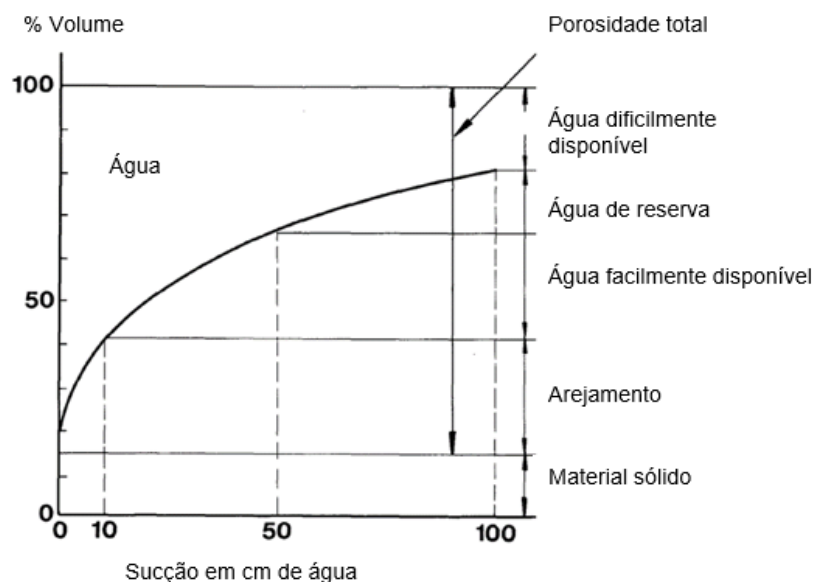
- Água facilmente disponível (AFD): Quantidade de água libertada pelo substrato quando a sucção passa de 10 cm (pF 1 ou -1 kPa) para 50 cm (pF 1,7 ou -5 kPa). O seu valor deverá estar entre 20-30% ( $v\ v^{-1}$ ).

- Água de reserva (AR): Quantidade de água libertada pelo substrato quando a sucção passa de 50 cm (pF 1,7 ou -5 kPa) para 100 cm (pF 2 ou -10 kPa). O valor ideal deverá estar entre 4 e 10% ( $v\ v^{-1}$ ).

- Água disponível (AD): Corresponde ao volume de água que está presente no substrato que pode ser absorvido pelas plantas. Calcula-se através da soma entre a água facilmente disponível e a água de reserva.

- Água dificilmente disponível (ADD). Quantidade de água retida à sucção de 100cm (pF 2 ou -10kPa).

A força de tensão aplicada é entre 10 e 100 cm, pois normalmente o sistema radicular desenvolve-se entre a camada de 10 a 15 cm, sendo que os 100 cm é o limite a partir do qual a planta entra em stress hídrico (De Boodt e Verdonck, 1972).



**Figura 1:** Curva de libertação de água de um substrato (adaptado de De Boodt e Verdonck, 1972).



### 2.1.2 Propriedades químicas dos substratos

As propriedades químicas têm uma elevada influência entre si, estando relacionadas com o tipo de reações que ocorrem no substrato e disponibilidade de nutrientes para as plantas, afetando diretamente o seu crescimento e desenvolvimento. Os parâmetros mais importantes para caracterizar quimicamente o material são o pH, a capacidade de troca catiónica, a salinidade e o teor de nutrientes (Raviv *et al.*, 1986). Ao contrário das propriedades físicas, as químicas podem ser totalmente ou parcialmente corrigidas.

#### *pH*

O pH mede o grau de acidez ou alcalinidade do substrato, através da concentração de iões de hidrogénio ( $H^+$ ) na sua solução. Segundo Miner (1994) o valor adequado para a maioria das espécies encontra-se entre 5,3 e 6,5. O pH influencia, a solubilidade e disponibilidade dos elementos, tanto nutritivos como tóxicos, bem como a atividade microbiana (Carmona, 1998).

#### *Capacidade de troca catiónica*

Os coloides (argila e húmus) são partículas que possuem à superfície cargas elétricas negativas, conseguindo atrair, reter ou trocar iões positivos (catiões). O complexo de troca corresponde ao conjunto destas partículas onde decorre a permuta de iões positivos. Os catiões sujeitos à adsorção são designados de catiões de troca, como os iões de cálcio ( $Ca^{2+}$ ), de magnésio ( $Mg^{2+}$ ), de potássio ( $K^+$ ), de sódio ( $Na^+$ ) e de amónio ( $NH_4^+$ ) (INAP, 2006).

A capacidade de troca catiónica (CTC) corresponde à capacidade do substrato em trocar os catiões (Brito e Mourão, 2012). Esta depende do material do substrato, da percentagem de matéria orgânica e do pH, sendo mais elevado nos substratos orgânicos do que nos minerais (López, 2005).

Segundo Brito e Mourão (2012), os valores ideais recomendados, que variam entre 6 a 15 meq 100 ml<sup>-1</sup> e 5 a 10 meq 100 ml<sup>-1</sup>, são referências a ter em conta, pois a CTC depende do sistema de controlo das condições nutritivas e da irrigação da cultura.

Segundo Ribeiro *et al.* (2001), a CTC tem como efeitos positivos a redução da perda de nutrientes e o aumento do poder tampão, e como efeitos negativos o aumento da competição entre o complexo de troca e a planta, o facto de este poder ser ocupado por elementos indesejáveis como sódio e a dificuldade do controlo da concentração de nutrientes.

## *Salinidade*

Quando o teor de sais solúveis no substrato é muito elevado, origina problemas de salinidade e reduz o desenvolvimento das plantas. Normalmente atribui-se à causa deste problema o excesso de cloretos e de sódio, porém todos os sais solúveis contribuem para este (INAP, 2006).

Segundo Ribeiro (2001) a salinidade tem um efeito negativo no desenvolvimento da cultura devido à dificuldade de absorção de água pelas plantas, originado pelo aumento da pressão osmótica e redução do potencial de água no solo, levando a desequilíbrios nutricionais, pois a elevada concentração de sódio e cloretos reduz a disponibilidade de outros nutrientes e pode causar toxicidade do meio devido às elevadas concentrações de sódio, cloro e boro.

A condutividade elétrica (CE) é um indicativo da concentração de sais ionizados na solução, fornecendo uma estimativa do seu potencial osmótico e da salinidade do substrato, sendo expressa em  $\text{dS m}^{-1}$  ou  $\text{mS cm}^{-1}$  (Brito e Mourão, 2012).

Segundo Miner (1994) as causas mais comuns de salinidade são:

- Utilização de substratos com elevada concentração de sais solúveis;
- Fertilização excessiva, com aplicação de adubos com nutrientes pouco absorvidos pelas plantas;
- Água de rega com teores de sais excessivos, nomeadamente de sódio e cloretos.

A tolerância à salinidade varia consoante a espécie da planta e a fase do ciclo em que se encontra, não havendo um valor ideal. No entanto é recomendado um valor entre 0,35 e 0,65  $\text{mS cm}^{-1}$  (Warncke e Krauskopf, 1983).

## *Teor de nutrientes*

A quantidade de nutrientes extraível representa normalmente uma fração muito pequena da quantidade total dos nutrientes no substrato (INIAP, 2006), pelo que é importante avaliar a sua disponibilidade para as plantas. Depende da forma química em que se encontram, bem como do pH, da CTC e da CE do substrato. Estes últimos afetam diretamente a disponibilidade dos iões, em formas menos disponíveis (nutrientes fixados ou precipitados) ou formas mais disponíveis (presentes na solução aquosa do substrato) (Brito e Morão, 2012).

Segundo De Boodt e Verdonck (1972), de modo a aumentar a disponibilidade de nutrientes, a concentração de sais e condutividade elétrica deve ser baixa, mas com uma capacidade de troca catiónica suficientemente elevada.

Caso a fertilidade do substrato seja mais baixa do que o pretendido, esta pode ser corrigida com a aplicação de fertilizantes. Existem valores de referência que indicam o valor ideal do teor de cada nutriente consoante a sua concentração no substrato, a espécie cultivada e a sua fase de desenvolvimento.

### 2.1.3 Propriedades biológicas dos substratos

Os substratos são meios favoráveis para o desenvolvimento de patógenos. No caso dos materiais inorgânicos, estes são colonizados após a planta já ter desenvolvido o seu sistema radicular. Há a possibilidade de os substratos de origem orgânica virem contaminados antes da formulação do substrato, podendo ser necessário realizar uma desinfeção química ou térmica do material (Carlie e Wilson, 1991).

Os principais problemas sanitários nos substratos são devidos à presença de nemátodos, larvas de insetos e bactérias (Lemaire *et al.*, 1989).

Os substratos orgânicos utilizados podem apresentar compostos fitotóxicos, principalmente quando as matérias-primas são derivadas das cascas das árvores.

O grau de toxicidade nestes materiais depende de vários fatores como a espécie florestal, a idade da casca, a zona de corte e a época em que é recolhida. As características fitotóxicas podem ocorrer devido a compostos orgânicos, como compostos fenólicos, taninos, resinas, ácidos alifáticos e monoterpenos bem como à presença de substâncias inorgânicas, como manganês (Bunt, 1988).

Os taninos podem afetar a decomposição do material e os compostos fenólicos (como ácido hidrobenzóico, vinílico ou ferúlico), apresentam diversos efeitos alelopáticos, como a redução no crescimento foliar, o atraso do desenvolvimento e a alteração no desenvolvimento das raízes (Carmona, 1998). Para reduzir a concentração destas substâncias nas matérias-primas pode-se recorrer a diversas técnicas, como lavar com água quente, envelhecimento ou compostagem.

## 2.2 Turfa

A turfa é o material orgânico mais utilizado como substrato, tendo origem nas turfeiras é formada a partir de material vegetal parcialmente decomposto em solo que se encontra permanentemente saturado de água. As turfeiras são ecossistemas pantanosos, caracterizados por um clima húmido e lençóis freáticos superficiais, resultando numa baixa

atividade microbiana, permitindo que a produção e deposição da matéria vegetal seja superior à sua taxa de degradação (Bunt, 1976).

As turfeiras correspondem a 3% da superfície terrestre, em que metade se encontram entre as latitudes 50-70°N (Zona boreal e temperada). Além desta existe também uma outra concentração na zona tropical/subtropical (Paavilainen e Päävönen, 1995), onde a turfa apresenta um grau de decomposição bastante elevado devido às altas temperaturas (Andriess, 1988), não sendo adequadas à utilização em horticultura.

A turfa pode ser classificada consoante o seu grau de decomposição, utilizando a escala de von Post, no qual é atribuído à turfa um valor de 1 a 10 (H1 a H10), consoante a quantidade e cor da água que é extraída quando a turfa é humedecida e comprimida. A classe H1 corresponde à turfa não decomposta e a H10 corresponde à turfa totalmente decomposta. A recomendada como substrato situa-se entre H1-H3, correspondendo à turfa loira (turfa de *Sphagnum*) (Bunt, 1976).

Este tipo de turfa é originário, na sua maioria, do Canadá, Irlanda e Alemanha. É caracterizada, por um pH ácido (3 - 4,5), baixo teor de nutrientes, com uma relação C/N elevada, baixa densidade, elevada porosidade e elevada capacidade de retenção de água, fator que a torna bastante apelativa (Brito e Mourão, 2012). É praticamente isenta de infestantes e patógenos, sendo um material muito estável, podendo ser armazenada durante longos períodos de tempo (Robertson, 1993).

As turfeiras são consideradas ecossistemas com um elevado potencial de conservação de biodiversidade e de regulação climática (Erwin, 2009). Apresentam diversos serviços benéficos como armazenamento de água e de nutrientes, proteção do solo contra a erosão, habitat para diversas espécies, sendo o mais importante o seu contributo para a regulação do clima, tanto pelo sequestro como pela libertação de gases com efeito de estufa (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) (Kimmel e Mander, 2010), e têm um balanço positivo de carbono, contendo 30% do carbono terrestre.

A extração mecânica de turfa para a formulação de substratos ou produção de energia causa a libertação de grandes quantidades de carbono e a destruição de muitas turfeiras, com um grande impacto no continente europeu (Bullock *et al.*, 2012). Como atualmente o impacto ambiental é tido como um fator tão importante como o custo ou desempenho na escolha do substrato, tem-se estudado alternativas ao uso da turfa, de modo a reduzir ou eliminar o seu uso.

Adicionalmente alguns países, nomeadamente Áustria, Suíça, Alemanha e Inglaterra começaram a limitar a extração deste material e têm estimulado o uso de alternativas que

estejam amplamente disponíveis e que sejam ambiental e economicamente sustentáveis (Fascella, 2015).

Pretende-se restaurar as turfeiras devido à sua aptidão de sequestro de carbono e habitat de espécies ameaçadas (Chapman *et al.*, 2003), porém tal só é possível se estiverem em bom estado (Silva *et al.*, 2007).

Os problemas que se têm encontrado para substituir a turfa estão relacionados com o custo elevado de transporte ou pré-tratamentos, como a compostagem. Adicionalmente estes resíduos costumam ter agentes patogénicos ou infestantes (Robertson, 1993).

As alternativas propostas têm ênfase em materiais orgânicos, como subprodutos do sector agroindustrial ou resíduos urbanos de difícil eliminação (Barrett *et al.*, 2016).

## 2.3 Economia circular

O aumento da escassez de água e condições climáticas extremas poderão levar não só a uma diminuição da produção, mas a que esta seja mais irregular. Deste nodo, será cada vez mais importante melhorar a eficiência no uso dos recursos (Gruda, 2019). Tendo isto em conta, constata-se que o modelo atualmente aplicado à cadeia agroalimentar é insustentável uma vez que se baseia tradicionalmente num modelo económico linear que parte do princípio de que existe uma abundância infinita de materiais, não tendo em conta os resíduos produzidos (Korhonen *et al.*, 2018).

Como tal, o modelo de economia circular tem vindo a ser promovido pela união europeia como alternativa, com o objetivo de reduzir desperdícios e reaproveitar os resíduos produzidos recorrendo a processos economicamente viáveis (Greco *et al.*, 2019). Este modelo atua ao longo de toda a cadeia de valor de um produto e considera os resíduos de um interveniente como recursos de outro, funcionando em ciclo fechado, reduzindo assim os desperdícios, sendo fundamental para se atingir uma agricultura sustentável (Lobo & Dorta, 2019).

O modelo enfatiza a reutilização de produtos, bem como o aproveitamento da energia solar, eólica e a proveniente de resíduos orgânicos.

Como a turfa utilizada na formulação de substratos é um recurso finito e ambientalmente pouco sustentável, poderá ser substituída por resíduos orgânicos provenientes da indústria, agricultura ou municipais (lamas de ETAR) (Greco *et al.*, 2019). Porém para implementar o modelo de economia circular será necessário incentivar o tratamento destes materiais alternativos a nível local, implementando métodos de qualidade rigorosos para a sua utilização nos substratos (Gruda N, 2019).

Adicionalmente, visto que os consumidores estão interessados em produtos produzidos a partir de recursos naturais, cuja produção seja ambientalmente consciente, será espectável uma maior aceitação destes produtos (Grade *et al.*, 2019).

## 2.4 Cortiça

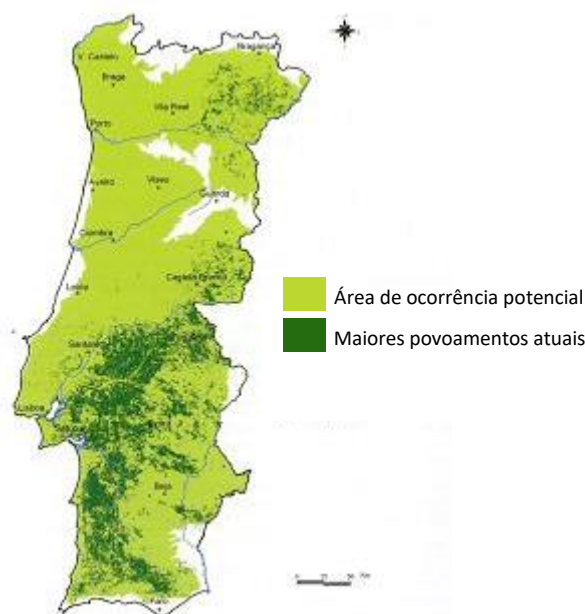
A cortiça é um tecido vegetal que constitui o revestimento do tronco, ramos e raízes dos sobreiros (*Quercus suber* L.) executando diversas funções como limitar a perda de água e a proteção contra o fogo a elevadas temperaturas.

### 2.4.1 Sobreiro (*Quercus suber* L.)

O sobreiro (*Quercus suber* L.) é uma espécie de carvalho de folha persistente, pertencente ao género *Quercus*. É uma espécie de crescimento lento, contudo com uma grande longevidade (250-300 anos).

Está distribuído na região ocidental da bacia mediterrânea e o ótimo ecológico encontra-se na península ibérica. Portugal tem 32% da área mundial de sobreiros, representando 23% da área florestal nacional (ICNF, 2013). Apesar de se poder instalar na generalidade do país, tem uma maior incidência na região do Alentejo (figura 2) estando bem-adaptado a condições de elevada temperatura e baixa pluviosidade. Está inserido num sistema agro-silvo-pastoril com uma elevada importância a nível económico e ambiental (Pereira, 2007), contribuindo para o armazenamento de água, a conservação do solo, o sequestro de carbono e a preservação da biodiversidade. Esta espécie é protegida, sendo a sua plantação e exploração incentivada.

É a partir do sobreiro que se obtêm a cortiça, matéria-prima que Portugal é líder mundial nas diferentes áreas da atividade (produção, transformação e comercialização) (Estudos, 2019).



**Figura 2:** Distribuição do sobreiro em Portugal continental Adaptado de: Silva (2007).

#### 2.4.2 Produção e transformação da cortiça

A cortiça é produzida durante o período de atividade fisiológica e crescimento do sobreiro entre a primavera e outono, por uma camada celular merismática designada por felogénio. O felogénio pode morrer devido a agressões externas (como descortiçamento), mas o sobreiro tem a capacidade de produzir uma nova camada deste, característica que permite uma exploração sustentável dos sobreiros (Fortes *et al.*, 2004).

No caso português os descortiçamentos ocorrem de 9 em 9 anos, pois foi considerado que essa era a duração adequada do ciclo da cortiça (o número de anos de crescimento da cortiça) para a maioria das árvores possuir espessura suficiente de cortiça para o fabrico de rolhas, considerando que cresce entre 2 e 5 mm por ano.

A extração da cortiça ocorre no pico de crescimento entre maio e julho. O primeiro descortiçamento ocorre quando a árvore apresenta 1,3 m de altura e 70 cm de diâmetro demorando em média 25 anos (APCOR, 2019), obtém-se uma cortiça com uma estrutura muito irregular e rígida designada por cortiça virgem. No segundo descortiçamento obtém-se uma cortiça regular, mas muito dura, designada de secundeira. A cortiça amadia obtém-se a partir do terceiro descortiçamento e possui as características adequadas para a produção de rolhas. É a partir desta altura que a cortiça apresenta uma boa qualidade e elevado valor, podendo-se realizar, em média 14 descortiçamentos deste tipo de cortiça (Pereira, 2007).

A cortiça é um material constituído por células ocas e sem atividade fisiológica. A sua composição química e a estrutura molecular dos seus componentes ainda continuam a ser objeto de investigação uma vez que muitos aspetos ainda não são conhecidos.

Os compostos estruturais da cortiça são a suberina (40%), lenhina, celulose (9%) e hemicelulose. Estes dois últimos conferem às células grande parte das suas propriedades físicas e químicas (Pereira, 2007). Os compostos não estruturais podem ser agrupados em dois grupos: extrativos e componentes inorgânicos (cinzas). Os extrativos podem ser agrupados em lípidos (5-8%) e compostos fenólicos (6-9%). Os compostos fenólicos são solúveis em água e incluem fenóis, ácidos benzoicos, ácidos cerâmicos e taninos (Fortes *et al.*, 2004).

A cortiça apresenta uma baixa densidade, uma elevada impermeabilidade a líquidos, uma elevada elasticidade e resistência ao desgaste, bem como, uma boa capacidade de isolamento térmico e acústico (Pereira, 2007). Devido a estas características a cortiça pode ter várias aplicabilidades na construção civil, calçado, vestuário e mobiliário, sendo, contudo, utilizada maioritariamente para o fabrico de rolhas.

Após o descortiçamento, as pranchas de cortiça amadia são empilhadas e armazenadas, normalmente durante 6 meses. O processo de transformação inicia-se com a cozedura no qual as pranchas são colocadas em água a 95°C durante 1h, período em que ocorre a expansão das células, tornando o arranjo estrutural mais estável, diminuindo a ondulação e a resistência mecânica das pranchas.

A seguir ocorre a estabilização, em que as pranchas de cortiça ficam 2-3 dias a secar e são posteriormente encaminhadas para o fabrico de rolhas ou de discos consoante a sua espessura. Caso apresentem defeitos são consideradas refugo e são trituradas juntamente com derivados da brocagem das rolhas dando origem a granulados (Silva, 2007). Os granulados que possuam uma densidade igual à da cortiça originam aglomerados que irão ser utilizados para a formulação de diversos materiais como rolhas aglomeradas, placas para isolamento térmico ou acústico ou *rubbercork* (Fortes *et al.*, 2004).

Os granulados que possuem uma granulometria baixa ou densidade superior à da cortiça, são classificados respetivamente como “pó de cortiça” e “granulado ADT (alta densidade de terra)”, sendo considerados resíduos.



### 2.4.3 Resíduos da indústria corticeira

Os principais resíduos da indústria da cortiça são as “terras de cortiça”, o “pó de cortiça” e os granulados como elevada densidade aparente (granulados ADT).

As “terras de cortiça” são provenientes da cortiça que não entrou no processo de transformação, sendo sobretudo constituídas por cortiça virgem, secundeira ou pelas costas das pranchas (parte exterior e escura da prancha) (Poeiras, 2015). O material é triturado, tendo uma granulometria entre 4 e 22 mm. São direcionados para o setor menos exigente, produzindo aglomerados de cortiça expandida (Pereira, 2007).

O “pó de cortiça” tem uma granulometria inferior a 0,25 mm, tem como principal destino a produção de energia através da queima de biomassa, mas também pode ser usado para a absorção de poluentes ou na preparação de carvões ativados (Barros, 2013).

O “granulado ADT” possui diferentes granulometrias, sendo as mais comuns de 0,5-1,0 mm e 1,0-2,0 mm. Este resíduo tem uma densidade aparente superior à da cortiça, pois está contaminado com substâncias terrosas (“terras”), e, por isso, é rejeitado no processo de fabrico de rolhas aglomeradas. O resíduo pode ser utilizado como biomassa para a produção de energia (Barros, 2013), tendo-se também estudado a sua aptidão para a formulação de substratos, com o intuito de reduzir/substituir a quantidade de turfa utilizada (Silva, 2018).

### 2.4.4 Utilização de cortiça como substrato

Existe pouca bibliografia em relação aos granulados de cortiça e a que existe, apesar de divulgar características físicas semelhantes, as características químicas são muito variáveis, possivelmente devido à variabilidade natural presente neste material e à dificuldade em extrair e separar as suas componentes sem as alterar (Carmona, 1998).

As propriedades físicas do granulado de cortiça variam consoante a sua granulometria (Ordovás *et al.*, 1996). Em média apresenta uma porosidade total de 57,8% ( $v\ v^{-1}$ ) e uma capacidade de retenção de água de 35% (Bozzolo e Evans, 2013), valor considerado baixo quando comparado com a turfa. De acordo com Carmona (2003) estas características, aliadas à sua baixa densidade aparente e elevado arejamento, são adequadas para a formulação de substratos.

Em relação às propriedades químicas a cortiça é caracterizada por um pH de 6,2 e condutividade elétrica de  $0,25\ mS.cm^{-1}$  (Ortega *et al.*, 1993). Tem uma relação C/N baixa sendo um substrato bastante estável (Carmona, 1998).

Relativamente ao teor de nutrientes, é caracterizado por um elevado teor principalmente de potássio, mas também de manganês. Estes teores podem afetar a disponibilidade de outros

nutrientes, o potássio poderá reduzir a disponibilidade de cálcio, magnésio e azoto, enquanto que o manganês interfere sobretudo com a absorção de ferro (Moreno *et al.*, 1995), o que segundo Caballero (2009) é o fator limitante.

É comum encontrar um efeito fitotóxico quando se utilizam resíduos florestais para a formulação do meio de cultivo, podendo ter origem na elevada razão C/N, elevado conteúdo de potássio e manganês ou na presença de compostos fenólicos, que segundo (Ortega *et al.*, 1996) é a causa da toxicidade presente nos substratos concebidos com cortiça.

O granulado ADT utilizado para a formulação dos substratos contém compostos fitotóxicos, pois apesar de a cortiça passar pelo processo de cozedura, este só estrai uma quantidade muito limitada de compostos solúveis, visto que a superfície de contacto entre a cortiça e a água é muito pequena (Pereira, 2007). Como tal, é necessário submeter posteriormente este material a um tratamento que os consiga extrair.

## 2.5 Tratamento hidrotérmico para remoção da fitotoxicidade

Existem vários processos que podem ser utilizados para remover a toxicidade do material como compostagem, envelhecimento ou lavagem. Nestes processos, para além da remoção da fitotoxicidade, também se observam alterações nas propriedades químicas dos materiais. O tratamento hidrotérmico é considerado atrativo do ponto de vista técnico-económico, devido à sua simplicidade e rápida implementação (Chemetova *et al.*, 2017). Tem como principal desvantagem a necessidade de fazer o tratamento da água residual obtida.

Este processo trata o material utilizando água num recipiente fechado. Como os compostos fenólicos, responsáveis pelos efeitos tóxicos, são solúveis em água é possível lixiviá-los. A temperatura da água e duração do tratamento para ocorrer a extração dos materiais é variável.

No caso de Moreno (1995), este compara o envelhecimento dos grânulos de cortiça (durante 1 ano) com o tratamento hidrotérmico (extração com água a 70°C). Ambos os processos modificam o teor de nutrientes. Enquanto, o envelhecimento reduziu a quantidade de fósforo e aumentou a de potássio, cálcio, sódio, ferro e magnésio devido ao processo de decomposição do resíduo, o tratamento hidrotérmico apesar de reduzir a concentração de fósforo (atribuído à dureza da água) também reduziu as quantidades de potássio e manganês, permitindo corrigir o seu excesso.

Os dois processos reduziram o teor de compostos fenólicos, mas a sua diminuição foi mais significativa no tratamento hidrotérmico (redução de 80%). O autor concluiu que após a remoção da toxicidade os grânulos de cortiça estavam aptos para a formulação de substratos.

Ortega (1996) recorreu a este processo para retirar a fitotoxicidade, com temperaturas de 15°C e 75°C, na qual conclui que ambas removeram a toxicidade, porém observou que quanto maior for a temperatura de extração maior será a remoção dos compostos fenólicos.

Como estes compostos solúveis têm um carácter ácido é de esperar que o pH suba significativamente (Moreno *et al.*, 1995).

Este processo não altera as propriedades físicas dos materiais, porém diminui a disponibilidade de azoto devido à sua imobilização (Chemetova *et al.*, 2018).

### 3 Material e métodos

#### 3.1 Matérias-primas utilizadas na formulação dos substratos

##### 3.1.1 Turfa

Utilizou-se turfa loira ligeiramente decomposta (H3 - H5 na escala de Von post) da marca Jiffy Substrates. De modo a obter uma fração mais fina e melhorar a sua capacidade de retenção de água, foi necessário criva-la numa malha de 5 mm. Posteriormente realizou-se uma calagem, pois o pH era mais ácido que o recomendado, tendo sido adicionados 2 g de calcário dolomítico e 1 g de calcário calcítico por cada litro de turfa.

##### 3.1.2 Granulado ADT (Alta Densidade de Terras)

Fornecido pela Equipar – Indústrias de Cortiça, S.A., é um resíduo do processo de fabrico de rolhas. O ADT produzido pode ser caracterizado pela dimensão das suas partículas. Para o ensaio foram utilizados granulados com duas granulometrias distintas (figura 3):

- ADT 1: Granulometria 0,5-1,0 mm;
- ADT 2: Granulometria 1,0-2,0 mm.



**Figura 3:** Granulado ADT de granulometria 0,5-1 mm (esq.) e 1,0-2,0 mm (Dir.).

Posteriormente parte destes materiais foram sujeitos a um tratamento hidrotérmico (que irá ser descrito no ponto 3.3), originando 2 materiais distintos (figura 4)

- ADT 1 T: ADT 1 sujeito ao tratamento hidrotérmico;
- ADT 2 T: ADT 2 sujeito ao tratamento hidrotérmico.



**Figura 4:** Granulado ADT de granulometria 0,5-1 mm (esq.) e 1,0-2,0 mm (Dir.), após o tratamento hidrotérmico.

As características das matérias-primas utilizadas para a formulação dos substratos estão apresentadas no ponto 4.1 dos resultados e discussão.

### 3.2 Formulação dos substratos

Foram formulados 16 substratos contendo diferentes proporções de turfa e dos granulados de cortiça acima mencionados. As percentagens (em volume) dos materiais que constituem cada modalidade estão especificadas no quadro 1.

**Quadro 1:** Composição dos substratos formulados A: 90 % Turfa + 10% ADT 1; B: 75 % Turfa + 25% ADT 1; C: 50 % Turfa + 50% ADT; D: 90 % Turfa + 10% ADT 1T; E: 75 % Turfa + 25% ADT 1T; F: 50 % Turfa + 50% ADT 1T; G: 90 % Turfa + 10% ADT 2; H: 75 % Turfa + 25% ADT 2; I: 50 % Turfa + 50% ADT 2; J: 90 % Turfa + 10% ADT 2T; K: 75 % Turfa + 25% ADT 2T; L: 50 % Turfa + 50% ADT 2T; T1, T2, T3 e T4: 100% Turfa.

Modalidade	Granulometria (mm)	ADT		Turfa % (v v <sup>-1</sup> )
		Tratamento Hidrotérmico	% (v v <sup>-1</sup> )	
T1	0,5 -1,0	Sem	0	100
A			10	90
B			25	75
C			50	50
T2	0,5 -1,0	Com	0	100
D			10	90
E			25	75
F			50	50
T3	1,0-2,0	Sem	0	100
G			10	90
H			25	75
I			50	50
T4	1,0-2,0	Com	0	100
J			10	90
K			25	75
L			50	50

### 3.3 Tratamento hidrotérmico

Como mencionado no ponto 3.1.2, sujeitou-se parte do granulado ADT 1 e ADT 2 a um tratamento hidrotérmico, com o objetivo de reduzir a fitotoxicidade presente nestes materiais.

O tratamento hidrotérmico é um processo que trata os resíduos orgânicos utilizando a água (reagente) a uma determinada temperatura e durante um certo período de tempo. Neste caso, o tratamento decorreu durante 1h com água a 100°C.

Este tratamento foi realizado num laboratório do Centro de Estudos Florestais do ISA, utilizando um digestor MK Systems Inc. (figura 5), que mantém a água a circular à temperatura pretendida. A proporção de ADT e de água foi de 1:1 (em volume), tendo sido obtidos no final 4L de cada tipo de ADT.



**Figura 5:** Digester (MK Systems Inc).

### 3.4 Caracterização das matérias-primas e dos substratos

Os métodos empregues para a caracterização física e química, bem como para a realização do teste de fitotoxicidade às matérias-primas foi idêntica à utilizada na caracterização dos substratos.

#### 3.4.1 Características físicas

Inicialmente, determinou-se a densidade aparente de acordo com a Norma Europeia EN 13040 (CEN, 1999a). De seguida, adaptando a Norma Europeia EN 13041 (CEN, 2011a) e recorrendo ao método descrito por Verdonck e Gabriels (1992), calculou-se a porosidade total, o arejamento a pF 1, a água facilmente disponível, a água de reserva e a água disponível. Para tal foram preenchidos cilindros de 100 cm<sup>3</sup> com as amostras (matérias-primas e substratos) e colocados numa “caixa de areia” (Eijkelkamp Soil e Water) (figura 6), onde foram sujeitos às sucções de: pF 1, pF 1,7 e pF 2 (correspondendo respetivamente, a uma altura de coluna de água de 10, 50 e 100 cm ou a -1, -5 e -10 kPa), cada uma durante 48h.



**Figura 6:** Cilindros preenchido, colocados na caixa de areia (Eijkelkamp Soil e Water).

No fim de cada sucção (48 h) os cilindros foram pesados, sendo que após a última sucção (pF 2) e respetiva pesagem, colocaram-se os cilindros numa estufa a 105°C, durante 48h, e determinou-se o peso seco. Determinou-se, ainda, o volume das amostras secas a 105°C de cada cilindro. Com os valores obtidos calculou-se a retenção de água a pF 1, pF 1,7 e pF 2, expressas em percentagem em volume.

Com base nestes valores de retenção de água determinou-se o arejamento a pF 1, a água facilmente disponível, a água de reserva e a água disponível, de acordo com as definições indicadas na revisão bibliográfica (ver 2.1.1):

- Arejamento a pF 1: Porosidade total - Água retida a pF 1;
- Água facilmente disponível: Água retida a pF 1 - Água retida a pF 1,7;
- Água de reserva: Água retida a pF 1,7 - Água retida a pF 2;
- Água disponível: Água facilmente disponível + Água de reserva.

Por fim, recorrendo à Norma Europeia EN 13039 (CEN, 1999d), determinou-se a percentagem de matéria orgânica e a de cinzas, tendo-se determinado a massa de amostra, à temperatura ambiente (amostra húmida), após uma secagem a 105°C a peso constante (peso seco) e após estarem sujeitas a 550°C durante uma noite (peso das cinzas). As fórmulas para o cálculo destas componentes são as indicadas abaixo.

$$\%Matéria\ Orgânica = \left( \frac{(Tara + Peso\ seco) - (Tara + Cinzas)}{(Tara + Peso\ Seco) - Tara} \right) \cdot 100$$



$$\%Cinzas = \left( \frac{(Tara + Cinza) - Tara}{(Tara + Peso Seco) - Tara} \right) \cdot 100$$

### 3.4.2 Características químicas

Inicialmente preparou-se um extrato aquoso 1:5 (em volume), a partir das amostras dos materiais e dos substratos no qual foram determinados o pH e a condutividade elétrica de acordo com as Normas Europeias EN 13037 (CEN, 1999b) e EN 13038 (CEN, 1999c).

De seguida filtraram-se os extratos, para se determinar os elementos minerais disponíveis para as plantas, como descrito na Norma Europeia EN 13652 (CEN, 2001b).

O azoto amoniacal ( $N-NH_4^+$ ) e o azoto nítrico ( $N-NO_3^-$ ) foram quantificados por espectrofotometria de absorção molecular num autoanalisador de fluxo segmentado (marca Skalar), sendo que se determinou o  $N-NH_4^+$  segundo método de Berthelot e o  $N-NO_3^-$  segundo o método de sulfanilamida, como indicado em Houba *et al.*, (1989).

O fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) foram quantificados por espectrometria de Emissão Ótica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) num ICP-OES de marca UNICAM.

A quantificação dos cloretos é feita recorrendo ao método de Morh, mas não foi possível realiza-lo, pois este método consiste numa titulação onde o indicador utilizado tem uma cor avermelhada que é semelhante à cor dos extratos, não se conseguindo identificar corretamente o ponto de equivalência.

### 3.4.3 Teste da fitotoxicidade

Adaptando a Norma Europeia EN 16086-2 (CEN, 2011c) realizou-se um ensaio de germinação em placas de petri, utilizando sementes de agrião-de-jardim (*Lepidium sativum* L.), com capacidade de germinação superior a 95%, pretendendo-se avaliar a percentagem de germinação e o crescimento radicular quer das matérias-primas quer dos substratos. Este ensaio teve como objetivo avaliar a toxicidade do meio em que se encontram as sementes, sendo um indicativo do sucesso do tratamento hidrotérmico.

As placas de Petri foram preenchidas com o substrato, semeando-se 10 sementes em cada placa. De seguida, estas foram colocadas numa câmara de incubação a 25 °C, sem luminosidade, durante 72 h.



Avaliou-se o número de sementes germinadas e o comprimento da raiz de cada planta, obtendo-se o índice de germinação e o índice do comprimento das raízes. Utilizando estes dois índices, calculou-se o índice de vitalidade de Munoo-Liisa (MLV), recorrendo à seguinte expressão:

$$MLV = \left( \frac{(GR_{s1} \cdot RL_{s1}) + (GR_{s2} \cdot RL_{s2}) + (GR_{s3} \cdot RL_{s3})}{3 \cdot (GR_c \cdot RL_c)} \right) \times 100$$

$GR_{s1}$ ,  $GR_{s2}$ ,  $GR_{s3}$ : Taxas de germinação nas três réplicas (%);

$RL_{s1}$ ,  $RL_{s2}$ ,  $RL_{s3}$ : Comprimento médio das raízes das 3 réplicas (%);

$GR_c$ : Taxa de germinação das 3 réplicas de controlo (%);

$RL_c$ : Comprimento médio das raízes nas três réplicas de controlo.

### 3.5 Ensaio em vasos com couve-chinesa

O ensaio em vasos decorreu na estufa do Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo do Instituto Superior de Agronomia. Esta está equipada com carros porta-vasos que ao possibilitarem a rotação dos vasos, permite que as condições de humidade, temperatura e luminosidade sejam controladas. Adicionalmente é possível deslocar os vasos para o interior da estufa, caso as condições atmosféricas se encontrem desfavoráveis.

O ensaio foi adaptado da Norma Europeia EN 16086-1 (CEN, 2011b). A planta teste escolhida foi a couve-chinesa (*Brassica rapa*, ssp. *Pekinensis*), com uma taxa de germinação superior a 95%.

Para o ensaio utilizaram-se vasos de 400 ml, contendo 370 mL do substrato. Realizaram-se 4 repetições por modalidade, perfazendo um total de 64 vasos.

A sementeira realizou-se no dia 9 de maio, semeando-se 12 sementes por vaso, tendo havido o cuidado de a profundidade ser o mais homogénea possível. Os vasos foram pulverizados e colocados na câmara de germinação. Passadas 24 h, foram transferidos e dispostos aleatoriamente para os carros porta-vasos da estufa (figura 7).



**Figura 7:** Disposição dos vasos na estufa, 24h após a sementeira.

Os substratos foram fertilizados de igual modo, segundo a Norma Europeia EN 16086-1 (CEN, 2011b). A fertilização efetuada por litro de substrato, bem como os reagentes laboratoriais utilizados, estão descritos no quadro 2.

**Quadro 2:** Reagentes utilizados ( $\text{mg L}^{-1}$  de substrato) e quantidade de nutrientes aplicadas ( $\mu\text{mol L}^{-1}$  de substrato) aos substratos.

Substância	Formula química	$\mu\text{mol L}^{-1}$	$\text{mg L}^{-1}$
Nitrato de amónio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	1,0	80
Nitrato de cálcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	4,0	944
Nitrato de potássio	$\text{KNO}_3$	6,5	657
Fosfato monopotássico	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	1,5	204
Sulfato de magnésio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	1,25	308
Nitrato de magnésio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	0,25	65
DTPA de ferro	Fe-DTPA (7% Fe)	15	11,97
Sulfato de magnésio	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	8	1,35
Sulfato de zinco	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4	1,15
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	6,26	2,39
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	0,75	0,19
Molibdato de sódio	$\text{NaMoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	0,5	0,12

A emergência das plantas foi contabilizada de 2 em 2 dias para se avaliar a taxa de germinação. Posteriormente acertou-se o número de plantas, de modo a ficarem 6 em cada vaso, perfazendo um total de 24 plantas por modalidade.

No dia 3 de junho, efetuou-se o corte da parte aérea das plantas. Esta foi pesada e colocada na estufa elétrica a 65°C. Ao fim de 48 h o material vegetal foi novamente pesado e levado para o laboratório, onde foi realizada a sua moenda, para ser analisado.

Após o corte da parte aérea, avaliou-se visualmente o crescimento do sistema radicular. A escala utilizada foi de 0 a 5, tendo sido escolhidos 3 vasos para servirem de padrão para a comparação. Foram escolhidos os vasos 23 (modalidade F), 48 (modalidade L) e 54 (modalidade T2) para corresponderem respetivamente à classificação 1, 3 e 5, estes estão indicados na figura 8.



**Figura 8:** Vasos referência para a avaliação visual do desenvolvimento das raízes (1- desenvolvimento radicular baixo; 3- desenvolvimento radicular médio; 5- desenvolvimento radicular alto).

### 3.5.1 Análise do material vegetal

Para a determinação do azoto as amostras foram digeridas, de acordo com o método de Kjeldahl (Horneck e Miller, 1998), tendo sido colocadas numa solução de ácido sulfúrico e selénio (catalisador). Depois do processo de digestão, quantificou-se o azoto num autoanalisador de fluxo segmentado da marca Skalar, usando o método de Berthelot (Houba, *et al.*, 1989).

Os restantes minerais (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn e B) foram determinados segundo a Norma Europeia EN 13650 (CEN, 2001a), tendo sido quantificados do mesmo modo que na determinação destes elementos nas matérias-primas e substratos (ICP-OES), descritos no ponto 3.4.2.

### 3.6 Delineamento experimental e tratamento estatístico

Os dados relativos à caracterização das matérias-primas foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) a um fator e, posteriormente, sempre que a ANOVA indicou diferenças significativas, a um teste de comparação de médias, utilizando o teste Tukey com 95% de confiança ( $p=0,05$ ).

O ensaio em vasos (caracterização dos substratos, teste de fitotoxicidade e crescimento da couve-chinesa) foi delineado de acordo com um esquema fatorial completamente casualizado, com 3 fatores:

- Granulometria do ADT, com 2 níveis (0,5-1,0 mm e 1,0-2,0 mm);
- Percentagem de ADT no substrato, com 4 níveis (0, 10, 25 e 50% ADT, em volume);
- Tratamento hidrotérmico do ADT, com 2 níveis (sem tratamento e com tratamento).

Os dados deste ensaio foram sujeitos a uma análise de variância (ANOVA) a 3 fatores e, posteriormente, sempre que a ANOVA indicou diferenças significativas, a um teste de comparação de médias, utilizado o teste Tukey com 95 % de confiança ( $p=0,05$ ). Como a interação a 3 fatores não foi significativa para a maioria dos parâmetros analisados, optou-se por apresentar as tabelas referentes a esta interação em anexo.

No caso da composição mineral e quantidades exportadas pela parte aérea das plantas (ver 4.3.2) a biomassa extremamente baixa de algumas plantas não permitiu efetuar a análise posterior da sua composição mineral. Assim, devido à falta de dados para algumas modalidades, os dados disponíveis foram analisados através de uma ANOVA a um fator.

A análise estatística foi realizada no programa *Statistix*, versão 9.

## 4 Resultados e discussão

### 4.1 Características das matérias-primas

#### 4.1.1 Propriedades físicas

No quadro 3 apresentam-se os valores da massa volúmica aparente das diferentes matérias-primas, sendo possível verificar que todos os valores se encontram abaixo do limite máximo recomendado por Abad *et al.* (2001) - 400 g dm<sup>-3</sup>. Observou-se, também, que, para cada granulometria, o tratamento hidrotérmico diminuiu a massa volumica aparente dos granulados de cortiça. Relativamente à porosidade total, segundo Verdonck e Gabriels (1992), deve ser superior a 85% e, apesar das diferenças significativas entre as diferentes matérias-primas, todos os valores encontram-se acima do valor de referência. Observa-se, ainda, que o tratatamento hidrotérmico aumenta significativamente a porosidade total dos granulados de cortiça (ADT 1 e ADT 2) e que, a turfa tem o valor mais alto.

Não foi possível avaliar a contratilidade dos materiais, uma vez que os materiais, com exceção da turfa não são coesos o suficiente para medir o seu volume.

**Quadro 3:** Massa volúmica aparente e porosidade total da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).

Matéria-prima	Massa Volúmica Aparente (g dm <sup>-3</sup> )	Porosidade Total (%, v v <sup>-1</sup> )
ADT 1	209,40 <i>a</i>	86,71 <i>d</i>
ADT 1T	179,83 <i>b</i>	88,58 <i>c</i>
ADT 2	172,30 <i>b</i>	89,08 <i>c</i>
ADT 2T	157,07 <i>c</i>	90,03 <i>b</i>
Turfa	89,83 <i>d</i>	94,26 <i>a</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

No quadro 4 estão apresentados os valores referentes à retenção de água. A turfa apresenta valores mais elevados, e todos os granulados de cortiça apresentam uma baixa capacidade de retenção de água, sendo inferiores ao descrito por Bozzolo e Evans (2013) de 35%. No entanto, o tratamento hidrotérmico aumentou significativamente a retenção de água dos granulados de cortiça, exceto a retenção a pF 2 do ADT 1.

**Quadro 4:** Retenção de água a pF 1; pF 1,7; pF 2 da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).

Matéria-prima	Retenção de água (% v v <sup>-1</sup> )		
	pF 1	pF 1,7	pF 2
ADT 1	30,67 c	26,79 c	27,15 b
ADT 1T	34,82 b	29,86 b	29,57 b
ADT 2	21,67 d	21,58 d	22,04 c
ADT 2T	28,73 c	27,64 bc	28,25 b
Turfa	89,41 a	49,80 a	40,62 a

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

Os valores de arejamento a pF 1, água facilmente disponível, água disponível e água de reserva dos diferentes materiais estão indicados no quadro 5.

Segundo Abad *et al.* (2001), o arejamento a pF 1 dos substratos deve estar contido entre 20 a 30%. A turfa tem um valor demasiado baixo, enquanto os materiais à base de cortiça têm um valor bastante elevado, sendo maior no ADT 2. A adição de granulado de cortiça à turfa na formulação do substrato terá como principal vantagem o melhoramento deste parâmetro (Bozzolo e Evans, 2013).

A água disponível e facilmente disponível são bastante baixas nos granulados de cortiça, que idealmente seria entre 24-40% e 20-30%, respetivamente (Miner, 1994). Os valores da turfa, apesar de elevados encontram-se próximo do intervalo de valores recomendados.

A água de reserva deverá estar entre 4-10%. É possível verificar que turfa se encontra dentro desta gama de valores e que os granulados de cortiça apresentam valores muito baixos.

**Quadro 5:** Arejamento a pF 1, água facilmente disponível, água de reserva e água disponível da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).

Matéria-prima	Arejamento a pF 1 (% v v <sup>-1</sup> )	Água Disponível (% v v <sup>-1</sup> )	Água Facilmente Disponível (% v v <sup>-1</sup> )	Água de Reserva (% v v <sup>-1</sup> )
ADT 1	56,04 c	3,88 c	3,88 c	-0,36 bc *
ADT 1T	53,83 c	5,25 b	5,00 b	0,28 b
ADT 2	67,40 a	0,42 d	0,42 d	-0,79 c *
ADT 2T	61,31 b	1,09 d	1,09 d	-0,61 c *
Turfa	4,85 d	48,79 a	39,61 a	9,18 a

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

\*- Os valores negativos são relativos ao erro experimental inerente ao método. Sendo valores residuais, devem ser considerados zero.

#### 4.1.2 Características químicas

No quadro 6, observa-se que pH de todos os materiais se encontra dentro do intervalo recomendado de 5,3 a 6,5 (Miner, 1994). Porém para a turfa obter o valor apresentado, foi necessário realizar uma calagem, como referido no ponto 3.1.1.

A condutividade elétrica é um indicador do teor de nutrientes e, no extrato aquoso 1:5 em volume, deverá estar entre os 0,35 e 0,65 mS cm<sup>-1</sup> (Warncke e Krauskopf, 1983). No entanto todos os materiais apresentam um valor inferior, representado o seu baixo teor em nutrientes.

**Quadro 6:** pH e condutividade elétrica (CE) no extrato aquoso 1:5 (v/v) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).

Matéria-prima	pH	CE (mS cm <sup>-1</sup> )
ADT 1	5,22 <i>c</i>	0,25 <i>a</i>
ADT 1T	5,09 <i>c</i>	0,12 <i>c</i>
ADT 2	5,72 <i>b</i>	0,15 <i>b</i>
ADT 2T	5,75 <i>b</i>	0,07 <i>d</i>
Turfa	6,05 <i>a</i>	0,03 <i>e</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

No quadro 7 encontram-se os valores de azoto amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e mineral extraíveis presentes nos materiais. A turfa é o material com o maior teor de azoto mineral extraível e o único que apresenta azoto nítrico, encontrando-se, porém, muito abaixo do valor recomendado de 50 a 200 mg L<sup>-1</sup> (Miner, 1994). Os materiais sujeitos ao tratamento hidrotérmico apresentam valores significativamente mais baixos de azoto amoniacal, como notado por Moreno (1995).

**Quadro 7:** Teor de azoto amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e azoto nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no extrato aquoso 1:5 (v v<sup>-1</sup>) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).

Matéria-prima	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	N mineral (mg L <sup>-1</sup> )
ADT 1	4,32 <i>b</i>	n.d.*	4,32 <i>b</i>
ADT 1T	1,06 <i>d</i>	n.d.*	1,06 <i>d</i>
ADT 2	3,30 <i>c</i>	n.d.*	3,30 <i>c</i>
ADT 2T	0,98 <i>d</i>	n.d.*	0,98 <i>d</i>
Turfa	8,44 <i>a</i>	3,21	11,65 <i>a</i>
**Rec. Sementeira	<75	50-200	-

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

\*n.d. não detetado ou inferior ao limite de deteção.

No quadro 8 constata-se que a turfa é um material pobre em nutrientes, tendo valores significativamente mais baixos que os outros materiais. No entanto os granulados de cortiça também apresentam teores de nutrientes abaixo do recomendado, excetuando o potássio. O teor excessivo de potássio característico da cortiça só se verifica na granulometria mais baixa (ADT 1), que é também o material com um teor de nutrientes extraíveis mais elevados, sendo o único que contém o fósforo no intervalo adequado.

Os teores de cálcio e magnésio são bastante baixos e a concentração mais elevada de potássio no ADT poderá dificultar a sua absorção pelas plantas.

O excesso de sódio influencia a capacidade das plantas em absorverem e transportarem nutrientes, afetando o seu desenvolvimento. O teor mais elevado surge no ADT 1, mas, ainda assim, encontra-se abaixo do limite máximo, pelo que não deverá haver problemas relacionados com o excesso de salinidade aquando da formulação dos substratos.

**Quadro 8:** Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) no extrato aquoso 1:5 (v v<sup>-1</sup>) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).

Matéria-prima	P (mg L <sup>-1</sup> )	K (mg L <sup>-1</sup> )	Ca (mg L <sup>-1</sup> )	Mg (mg L <sup>-1</sup> )	Na (mg L <sup>-1</sup> )
ADT 1	22,41 a	435,51 a	37,52 a	6,27 a	23,28 a
ADT 1T	7,31 c	189,58 c	24,32 b	4,00 b	9,06 c
ADT 2	13,76 b	249,67 b	24,51 b	3,67 b	15,26 b
ADT 2T	4,57 d	111,10 d	22,32 b	2,8 c	7,06 d
Turfa	0,85 e	9,00 e	10,00 c	1,84 d	4,86 e
*Rec. Sementeira	19-55	51-250	>200	16-85	<50

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

\*Valores recomendados, adaptado de Miner (1994).

No quadro 9 verifica-se que tanto os teores de ferro como os de manganês estão dentro dos limites recomendados, como tal, e ao contrário do descrito por Caballero (2009) o ferro não deverá ser o fator limitante, nem deverá causar deficiência férrica nas plantas.

O boro encontra-se dentro dos valores recomendados bem como os de cobre (com exceção do ADT 1, que se encontra acima do limite). Os teores de zinco extraíveis não são significativamente diferentes nos materiais analisados e encontram-se abaixo do limite recomendado.



**Quadro 9:** Teores de ferro (Fe), boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) no extrato aquoso 1:5 (v v<sup>-1</sup>) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).

Matéria-prima	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	B (mg L <sup>-1</sup> )
ADT 1	0,47 <i>ab</i>	1,24 <i>a</i>	0,12	0,12 <i>a</i>	0,86 <i>a</i>
ADT 1T	0,38 <i>b</i>	0,55 <i>b</i>	0,07	0,08 <i>ab</i>	0,30 <i>c</i>
ADT 2	0,40 <i>ab</i>	0,57 <i>b</i>	0,12	0,02 <i>ab</i>	0,49 <i>b</i>
ADT 2T	0,41 <i>ab</i>	0,43 <i>c</i>	0,07	0,07 <i>b</i>	0,23 <i>cd</i>
Turfa	0,50 <i>a</i>	0,02 <i>d</i>	0,05	0,05 <i>ab</i>	0,18 <i>d</i>
*Rec. Sementeira	0,3-3,0	0,02-3,0	0,3-3,0	0,001-0,5	0,05-0,5

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

\* Valores recomendados, adaptado de Abad (1992).

Adicionalmente, como o tratamento hidrotérmico faz uma extração ao material, verifica-se que reduz significativamente o teor de nutrientes.

#### 4.1.3 Teste de fitotoxicidade

No teste de fitotoxicidade com sementes de agrião-de-jardim (*Lepidium sativum* L.), a turfa foi o material utilizado como controlo para o cálculo do índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLV). O índice de germinação foi máximo em todos os materiais, visto que todas as sementes germinaram. Como todos os materiais tiveram um índice de germinação de 100%, o índice de crescimento radicular foi igual ao índice MLV. Os materiais que foram tratados (ADT 1T e ADT 2T) obtiveram resultados similares à turfa e são significativamente superiores aos materiais que não foram sujeitos ao tratamento (quadro 10).

Com base nos resultados obtidos é possível afirmar que os granulados de cortiça apresentam substâncias tóxicas para as plantas, que afetam o seu crescimento, e que o tratamento hidrotérmico permitiu reduzir essa toxicidade, tendo-se obtido granulados tratados que proporcionam condições para a germinação e crescimento radicular do agrião-de-jardim semelhantes à turfa.

**Quadro 10:** Índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade de Munoo-Liisa (MLV) da turfa e dos granulados de cortiça ADT 1 (0,5-1,0 mm, sem tratamento), ADT 1T (0,5-1,0 mm, com tratamento), ADT 2 (1,0-2,0 mm, sem tratamento), ADT 2T (1,0-2,0 mm, com tratamento).

Matéria-prima	Índice de Germinação (%)	Comprimento raiz (cm)	MLV (%)
ADT 1	100	0,49 <i>c</i>	19,71 <i>c</i>
ADT 1T	100	2,03 <i>b</i>	80,96 <i>b</i>
ADT 2	100	1,10 <i>c</i>	43,81 <i>c</i>
ADT 2T	100	2,79 <i>a</i>	111,58 <i>a</i>
Turfa	100	2,50 <i>ab</i>	100,00 <i>ab</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).

## 4.2 Características dos substratos

De acordo com o delineamento experimental, nos quadros seguintes apresentam-se os resultados dos fatores em estudo:

- Granulometria do granulado de cortiça ADT presente nos substratos (granulometria);
- Percentagem de granulado de cortiça ADT nos substratos (percentagem);
- Existência ou não, de tratamento hidrotérmico do granulado ADT (tratamento).

Apresentam-se, ainda, os resultados das interações que se revelaram significativas. Os resultados das interações a três fatores são apresentados, também, em anexo.

### 4.2.1 Propriedades físicas

Nenhum dos parâmetros apresentados no quadro 11 foi influenciado significativamente pela granulometria do ADT, ao contrário do que seria de esperar, pois a granulometria influencia a maioria das propriedades físicas, incluindo a porosidade total e massa volúmica aparente (Wallach, 2008).

Relativamente à percentagem de granulado de cortiça ADT no substrato, verificou-se um aumento significativo da massa volúmica aparente, e a consequente diminuição da porosidade total, com o aumento da percentagem de granulado de cortiça nos substratos. No entanto, os valores obtidos estão dentro dos valores considerados adequados referidos em 4.1. Verificou-se, também, uma diminuição altamente significativa da contratilidade, isto é, a capacidade do substrato para reduzir o seu volume quando ocorre a sua secagem. Uma das propriedades negativas da turfa é a sua elevada contratilidade, sendo esta redução provocada pelo granulado de cortiça um resultado muito positivo.

**Quadro 11:** Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na massa volúmica aparente, porosidade total e contratilidade dos substratos.

	Massa Volúmica Aparente (g dm <sup>-3</sup> )	Porosidade Total (%, v v <sup>-1</sup> )	Contratilidade (%, v v <sup>-1</sup> )
<b>Granulometria</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm	128,29	91,86	32,98
1,0-2,0 mm	115,25	92,70	32,46
<b>Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	*	*	***
0 %	86,37 c	94,56 a	37,67 a
10 %	101,73 bc	93,56 ab	35,45 ab
25 %	145,25 ab	90,78 bc	32,26 b
50 %	153,74 a	90,22 c	25,51 c
<b>Tratamento</b>			
<i>Signif.</i>	*	*	<i>ns</i>
Sem tratamento	135,20 a	91,42 b	32,12
Com tratamento	108,34 b	93,13 a	33,32

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

Como se pode verificar no quadro 12 a interação entre os diversos fatores não foi significativa para estes parâmetros.

**Quadro 12:** Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na massa volúmica aparente, porosidade total e contratilidade dos substratos.

Interação	Massa Volúmica Aparente (g dm <sup>-3</sup> )	Porosidade Total (%)	Contratilidade (%)
<b>Granulometria*Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
<b>Granulometria*Tratamento</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
<b>Tratamento*Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

ns não significativo.

A granulometria do ADT e o tratamento hidrotérmico afetaram de forma significativa a retenção de água a pF 1, sendo esta superior na granulometria de 0,5-1,0 mm e no granulado com o tratamento hidrotérmico (quadro 13). Estes fatores não afetaram de forma significativa a retenção de água a pF 1,7 e a pF 2.

A percentagem de granulado ADT no substrato teve um efeito altamente significativo na retenção de água dos substratos (quadro 13). O aumento da percentagem de granulado ADT diminui significativamente a retenção de água. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos na caracterização das matérias-primas (4.1), pois a turfa apresenta valores de retenção de água muito superiores aos de cortiça.

**Quadro 13:** Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na retenção de água a pF 1, pF 1,7 e pF 2 dos substratos.

	Retenção de água (% v v <sup>-1</sup> )		
	pF 1	pF 1,7	pF 2
<b>Granulometria</b>			
<i>Signif.</i>	*	ns	ns
0,5-1,0 mm	79,49 a	46,16	38,35
1,0-2,0 mm	76,21 b	48,17	38,57
<b>Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	***	***	ns
0%	85,10 a	56,45 a	40,24
10%	83,94 a	48,66 ab	40,14
25%	76,96 b	43,27 b	36,88
50%	65,40 c	40,28 b	36,57
<b>Tratamento</b>			
<i>Signif.</i>	**	ns	ns
Sem tratamento	75,84 b	45,25	37,65
Com tratamento	79,86 a	49,08	39,26

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

Os parâmetros de retenção de água a pF 1,7 e pF 2 não são influenciados pela interação entre os fatores, porém as interações dos fatores granulometria\*percentagem e percentagem\*tratamento foram significativas para a retenção de água a 10 cm (pF 1) (quadro 14). Quando se utiliza granulado ADT de maior granulometria (1,0-2,0 mm) ou granulado ADT que tenha sido sujeito ao tratamento hidrotérmico, não há diferenças significativas entre a turfa (0%) e a modalidade com 25% de ADT, indicando que se pode substituir até 25% da turfa sem encontrar diferenças significativas na retenção de água a pF 1.

**Quadro 14:** Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na retenção de água a pF 1, pF 1,7 e pF 2 dos substratos.

Interação	Retenção de água (% v v <sup>-1</sup> )		
	pF 1	pF 1,7	pF 2
<b>Granulometria*Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	***	ns	ns
<b>0,5-1,0 mm</b>			
0%	84,76 a	53,61	40,41
10%	84,74 a	48,60	40,27
25%	75,35 bc	40,58	34,16
50%	73,11 c	41,86	38,56
<b>1,0-2,0 mm</b>			
0%	85,43 a	59,30	40,07
10%	83,14 ab	48,72	40,02
25%	78,57 abc	45,97	38,98
50%	57,69 d	38,69	35,19
<b>Granulometria*Tratamento</b>			
<i>Signif.</i>	ns	ns	ns
<b>Tratamento*Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	*	ns	ns
<b>Sem tratamento</b>			
0%	85,03 a	53,73	40,30
10%	84,23 a	49,01	40,36
25%	72,77 bc	40,18	34,09
50%	61,38 d	38,07	35,85
<b>Com tratamento</b>			
0%	85,19 a	59,18	40,18
10%	83,65 a	48,31	39,05
25%	81,15 ab	46,36	39,05
50%	69,43 cd	42,48	37,90

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

No quadro 15 estão apresentados os valores de arejamento a pF 1, água disponível, água facilmente disponível e água de reserva dos substratos.

O arejamento a pF 1 aumenta com a granulometria do ADT enquanto o tratamento hidrotérmico diminui o arejamento. Como referido por Bozzolo e Evans (2013) a adição de granulado ADT à turfa aumenta significativamente a capacidade de arejamento do substrato, todavia, com exceção do substrato que contém 50% de ADT, o arejamento encontra-se abaixo do recomendado (20-30%), indicando que só substituindo pelo menos metade da turfa o substrato apresenta um arejamento adequado.

A água disponível nos substratos é influenciada significativamente pelos 3 fatores estudados, sendo superior nos substratos com granulado ADT de menor granulometria, com menor percentagem de granulado ADT e cujo ADT foi sujeito ao tratamento hidrotérmico. Os resultados são semelhantes para a água facilmente disponível e para a água de reserva. Assim, o aumento da percentagem de ADT no substrato leva a uma redução da retenção de

água disponível, mas os valores obtidos são adequados, tendo em conta o intervalo recomendado (24-40%).

**Quadro 15:** Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no arejamento a pF 1, água disponível, água facilmente disponível e água de reserva dos substratos.

	Arejamento a pF 1 (%, v v <sup>-1</sup> )	Água Disponível (%, v v <sup>-1</sup> )	Água Facilmente Disponível (%, v v <sup>-1</sup> )	Água de Reserva (%, v v <sup>-1</sup> )
<b>Granulometria</b>				
<i>Signif.</i>	***	***	*	ns
0,5-1,0 mm	12,36 <i>b</i>	41,14 <i>a</i>	33,33 <i>a</i>	7,81
1,0-2,0 mm	16,49 <i>a</i>	37,64 <i>b</i>	28,04 <i>b</i>	9,60
<b>Percentagem</b>				
<i>Signif.</i>	***	***	*	***
0%	9,45 <i>c</i>	44,86 <i>a</i>	28,64 <i>ab</i>	16,21 <i>a</i>
10%	9,62 <i>c</i>	43,79 <i>a</i>	35,28 <i>a</i>	8,52 <i>ab</i>
25%	13,82 <i>b</i>	40,39 <i>b</i>	33,64 <i>ab</i>	6,70 <i>b</i>
50%	24,82 <i>a</i>	28,53 <i>c</i>	25,13 <i>b</i>	3,40 <i>b</i>
<b>Tratamento</b>				
<i>Signif.</i>	**	***	ns	ns
Sem tratamento	15,58 <i>a</i>	38,19 <i>b</i>	30,60	7,60
Com tratamento	13,28 <i>b</i>	40,59 <i>a</i>	30,77	9,82

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a  $p<0,05$ ,  $p<0,01$ ;  $p<0,001$ , respetivamente.

No entanto, as interações granulometria\*percentagem e tratamento\*percentagem foram significativas para o arejamento a pF 1 e para a água disponível (quadro 16). Apesar de significativas, a análise das interações indica que o aumento da percentagem de granulado levou a uma tendência de aumento do arejamento dos substratos e a uma redução da retenção de água, que na percentagem de 50% foi significativamente superior no granulado de maior granulometria (1,0-2,0 mm) e no granulado não tratado.

Para se atingir os valores recomendados para o arejamento a pF 1 (20-30%) é necessário substituir 50% da turfa com granulado ADT de maior granulometria. Adicionalmente obtêm-se melhores resultados caso este granulado não tenha sido sujeito ao tratamento hidrotérmico. No caso da água disponível caso se utilize o granulado ADT de menor granulometria ou que tenha sido sujeito ao tratamento hidrotérmico, é possível substituir até 25% da turfa sem haver diferenças significativas para a modalidade sem granulado ADT.

**Quadro 16:** Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no arejamento a pF 1, água disponível, água facilmente disponível e água de reserva dos substratos.

Interação	Arejamento a pF 1 (%, v v <sup>-1</sup> )	Água Disponível (%, v v <sup>-1</sup> )	Água Facilmente Disponível (%, v v <sup>-1</sup> )	Água de Reserva (%, v v <sup>-1</sup> )
<b>Granulometria*Percentagem</b>				
<i>Signif.</i>	***	***	ns	ns
<b>0,5-1,0 mm</b>				
0%	9,81 <i>cd</i>	44,36 <i>ab</i>	31,15	13,20
10%	8,75 <i>d</i>	44,78 <i>ab</i>	36,15	8,33
25%	13,68 <i>bc</i>	41,19 <i>bc</i>	34,78	6,42
50%	17,22 <i>b</i>	34,55 <i>d</i>	31,25	3,30
<b>1,0-2,0 mm</b>				
0%	9,10 <i>d</i>	45,36 <i>a</i>	26,14	19,22
10%	10,49 <i>cd</i>	43,11 <i>ab</i>	34,41	8,70
25%	13,96 <i>bc</i>	39,59 <i>c</i>	32,60	7,00
50%	32,42 <i>a</i>	22,50 <i>e</i>	19,00	3,50
<b>Granulometria*Tratamento</b>				
<i>Signif.</i>	ns	ns	ns	ns
<b>Tratamento*Percentagem</b>				
<i>Signif.</i>	**	**	ns	ns
<b>Sem tratamento</b>				
0%	9,56 <i>d</i>	44,70 <i>a</i>	31,28	13,42
10%	9,01 <i>d</i>	43,86 <i>a</i>	35,21	8,65
25%	15,96 <i>c</i>	38,68 <i>b</i>	32,59	6,09
50%	27,79 <i>a</i>	25,52 <i>d</i>	23,31	2,22
<b>Com tratamento</b>				
0%	9,55 <i>d</i>	45,02 <i>a</i>	26,01	19,01
10%	10,24 <i>d</i>	43,73 <i>a</i>	35,35	8,38
25%	11,67 <i>cd</i>	42,10 <i>ab</i>	34,79	7,31
50%	21,85 <i>b</i>	31,53 <i>c</i>	26,95	4,58

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

Ao contrário do descrito por Ortega *et al.* (1996) o tratamento hidrotérmico alterou significativamente alguns dos parâmetros das propriedades físicas.

#### 4.2.2 Propriedades químicas

Na avaliação das propriedades químicas dos substratos, optou-se por não analisar o azoto mineral, uma vez que as matérias-primas (turfa e diferentes granulados de cortiça) apresentaram teores muito baixos, mesmo residuais, de azoto mineral.

Quanto ao pH dos substratos, os valores obtidos (quadro 17) estão dentro do intervalo recomendado (5,3-6,5) para substratos hortícolas. Observou-se um efeito significativo, no pH dos substratos, da percentagem de granulado ADT (o seu aumento leva a aumentos de pH) e do tratamento hidrotérmico (menor pH no granulado sujeito ao tratamento). No entanto, a interação granulometria\*tratamento foi significativa (quadro 18). Efetivamente, o tratamento

hidrotérmico reduziu o pH nos substratos com granulado de menor granulometria (0,5-1,0 mm), enquanto que no granulado ADT 1,0-2,0 mm o tratamento hidrotérmico não o afetou pH dos substratos formulados (quadro 18). A interação a 3 fatores não foi significativa (anexo).

Tal como o pH, a condutividade elétrica dos substratos formulados foi significativamente afetada pela percentagem de granulado de cortiça no substrato e pelo tratamento hidrotérmico. Observou-se uma tendência de redução da condutividade elétrica com o aumento da percentagem de granulado de cortiça e com o tratamento hidrotérmico. Nenhuma das interações foi significativa. No entanto, os valores de condutividade elétrica estão abaixo dos valores considerados adequados entre 0,35 a 0,65 mS cm<sup>-1</sup> (Warncke e Krauskopf, 1983), justificando a necessidade da fertilização efetuada no ensaio com a couve chinesa (ver 3.5). No caso da condutividade elétrica, nenhuma das interações foi significativa.

**Quadro 17:** Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no pH e condutividade elétrica (CE) dos substratos.

	pH	CE (mS cm <sup>-1</sup> )
<b>Granulometria</b>		
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm	5,76	0,08
1,0-2,0 mm	5,71	0,08
<b>Percentagem</b>		
<i>Signif.</i>	<b>***</b>	<b>**</b>
0%	5,50 <i>b</i>	0,10 <i>a</i>
10%	5,76 <i>a</i>	0,09 <i>ab</i>
25%	5,77 <i>a</i>	0,07 <i>b</i>
50%	5,93 <i>a</i>	0,06 <i>b</i>
<b>Tratamento</b>		
<i>Signif.</i>	<b>*</b>	<b>*</b>
Sem tratamento	5,80 <i>a</i>	0,09 <i>a</i>
Com tratamento	5,68 <i>b</i>	0,07 <i>b</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.



**Quadro 18:** Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no pH e condutividade elétrica (CE) dos substratos.

Interação	pH	Condutividade elétrica (mS cm <sup>-1</sup> )
<b>Granulometria*Percentagem</b>		
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
<b>Granulometria*Tratamento</b>		
<i>Signif.</i>	*	<i>ns</i>
<b>0,5-1,0 mm</b>		
Sem tratamento	5,90 a	0,09
Com tratamento	5,33 b	0,08
<b>1,0-2,0</b>		
Sem tratamento	5,70 ab	0,09
Com tratamento	5,73 ab	0,07
<b>Tratamento*Percentagem</b>		
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

No quadro 19 estão indicados os teores de macronutrientes e sódio extraíveis com água (1:5 em volume) presentes nos substratos. Como mencionado no ponto 4.1.2, as matérias-primas apresentam teores de nutrientes extraíveis baixos e, por esse motivo, os substratos formulados continuam a ter teores de macronutrientes extraíveis abaixo do recomendado. Só o potássio apresenta valores dentro do recomendado (50-200 mg L<sup>-1</sup>), em alguns substratos.

**Quadro 19:** Efeito dos (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) extraíveis com água (1:5 em volume) dos substratos.

	P (mg L <sup>-1</sup> )	K (mg L <sup>-1</sup> )	Ca (mg L <sup>-1</sup> )	Mg (mg L <sup>-1</sup> )	Na (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Granulometria</b>					
<i>Signif.</i>	***	***	***	***	**
0,5-1,0 mm	3,72 b	54,58 a	14,63 a	4,40 a	11,64 a
1,0-2,0 mm	3,93 a	39,29 b	12,38 b	3,77 b	10,20 b
<b>Percentagem</b>					
<i>Signif.</i>	***	***	***	***	***
0%	4,71 a	9,57 d	11,76 c	4,43 b	8,40 c
10%	3,70 c	39,97 c	15,75 a	5,49 a	12,52 a
25%	2,71 d	59,56 b	13,28 b	3,76 c	11,79 ab
50%	4,18 b	78,64 a	13,24 b	2,66 d	10,98 b
<b>Tratamento</b>					
<i>Signif.</i>	***	***	*	<i>ns</i>	***
Sem tratamento	4,70 a	62,02 a	13,99 a	4,09	11,90 a
Com tratamento	3,00 b	31,85 b	13,03 b	4,08	9,95 b

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

No caso do P, K, Mg e Na extraíveis, a interação a 3 fatores foi significativa, sendo a mesma apresentada no quadro 20.

No P extraível, há uma redução significativa do seu teor com o aumento da percentagem dos granulados sujeitos a tratamento no substrato. No caso dos granulados de cortiça sem tratamento, não há um padrão de variação bem definido.

Quanto ao K extraível, o aumento da percentagem de granulado de cortiça no substrato origina acréscimos significativos da disponibilidade de potássio, mais acentuados nos granulados não tratados. Este resultado indica que os granulados de cortiça constituem uma fonte de potássio para as plantas, observando-se que nos substratos com maior percentagem de granulados de cortiça os teores de K extraível ou são muito próximos, ou estão dentro, da gama recomendada para substratos de 51 a 250 mg L<sup>-1</sup> (Miner, 1994).

Relativamente ao Mg extraível, observou-se uma tendência de redução da sua disponibilidade com o aumento da percentagem de granulado de cortiça no substrato, enquanto que no caso do Na extraível não se observa um padrão de variação bem definido. De facto, apenas no granulado 0,5-1,0 mm não tratado se observam teores de Na extraível superiores ao do substrato sem granulado. Nos restantes casos não há diferenças significativas.

**Quadro 20:** Efeito das interações a 3 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) extraível com água (1:5 em volume) dos substratos.

Granulado de cortiça	%	P (mg L <sup>-1</sup> )	K (mg L <sup>-1</sup> )	Ca (mg L <sup>-1</sup> )	Mg (mg L <sup>-1</sup> )	Na (mg L <sup>-1</sup> )
		***	***	ns	***	**
0,5-1,0 mm sem tratamento	0	4,71 c	9,85 g	12,11	4,62 cd	8,14 c
	10	3,42 ef	65,67 c	18,05	6,17 a	16,29 a
	25	2,86 gh	90,01 b	14,89	3,75 fg	14,08ab
	50	8,34 a	132,18 a	18,05	3,48 gh	15,24 a
0,5-1,0 mm com tratamento	0	4,71 c	9,85 g	12,11	4,62 cd	8,14 c
	10	3,22 fg	29,63 f	16,54	5,83 a	11,53 bc
	25	1,81 i	43,86 e	14,35	4,39 de	11,52 bc
	50	0,73 j	55,61 d	11,02	2,34 i	8,19 c
1,0-2,0 mm sem tratamento	0	4,75 c	9,24 g	11,24	4,36 de	8,36 c
	10	4,32 cd	39,96 e	13,70	4,86 bc	11,34 bc
	25	3,47 ef	66,00 c	11,23	3,08 h	11,15 bc
	50	5,73 b	83,25 b	12,69	2,41 i	10,58 bc
1,0-2,0 mm com tratamento	0	4,66 c	9,34 g	11,58	4,12 ef	8,95 c
	10	3,87 de	24,61 f	14,72	5,11 b	10,93 bc
	25	2,71 h	38,35 e	12,67	3,82 fg	10,41 c
	50	1,94 i	43,55 e	11,22	2,44 i	9,91 c

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

Apesar da interação a 3 fatores não ter sido significativa para o Ca extraível, observaram-se interações a 2 fatores significativas (quadro 21). No caso do Ca extraível é, sobretudo de destacar o efeito do tratamento hidrotérmico na redução do seu teor nos substratos com

granulado de cortiça de menor granulometria (0,5-1,0 mm), enquanto que nos granulado 1,0-2,0 mm, o tratamento não afetou a disponibilidade de Ca.

**Quadro 21:** Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores cálcio (Ca) extraível com água (1:5 em volume) dos substratos.

Interação	Ca (mg L <sup>-1</sup> )
Granulometria*Percentagem	
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>
Granulometria*Tratamento	
<i>Signif.</i>	<b>**</b>
<b>0,5-1,0 mm</b>	
Sem tratamento	15,77 <i>a</i>
Com tratamento	13,50 <i>b</i>
<b>1,0-2,0 mm</b>	
Sem tratamento	12,21 <i>b</i>
Com tratamento	12,55 <i>b</i>
Tratamento*Percentagem	
<i>Signif.</i>	<b>**</b>
<b>Sem tratamento</b>	
0%	11,67 <i>de</i>
10%	15,87 <i>a</i>
25%	13,05 <i>cde</i>
50%	15,37 <i>abc</i>
<b>Com tratamento</b>	
0%	11,84 <i>de</i>
10%	15,63 <i>ab</i>
25%	13,51 <i>bcd</i>
50%	11,12 <i>e</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ). *ns* não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a  $p<0,05$ ,  $p<0,01$ ;  $p<0,001$ , respetivamente.

Em termos genéricos, observou-se que o tratamento hidrotérmico diminui significativamente o teor de nutrientes extraíveis, uma vez que o processo de tratamento, utilizando água, faz uma extração ao granulado.

De acordo com a análise às matérias-primas, os granulados ADT têm um teor de nutrientes extraíveis mais elevado que a turfa, pelo que seria espectável que o aumento da percentagem de ADT no substrato originasse um aumento do teor de nutrientes extraíveis. No entanto, tal só se verificou para o potássio, não havendo uma relação clara entre a percentagem de granulado ADT no substrato e teor dos outros nutrientes apresentados no quadro 19. Por outro lado, os substratos contendo ADT de granulometria mais baixa (0,5-1,0 mm), não apresentaram sempre o maior teor de nutrientes, à exceção do potássio, ao contrário do que seria de prever pela análise das matérias-primas. Estes resultados poderão estar relacionados com o facto de estarmos a determinar elementos extraíveis com água e de a turfa ser um material que tem complexo de troca. Assim, ao misturar o granulado de cortiça com a turfa, o complexo de troca da turfa, através dos fenómenos de troca iónica, poderá afetar a

composição da solução do substrato e, conseqüente, a extração dos nutrientes com água. Desta forma, um aumento da percentagem de granulado ADT no substrato poderá não originar a uma variação proporcional do teor de nutriente extraível com água.

Os micronutrientes analisados nos substratos apresentam valores que, de um modo geral, estão dentro dos valores recomendados (quadro 22).

Os teores de ferro e manganês extraíveis foram afetados significativamente pela granulometria do granulado ADT (obtiveram-se teores significativamente mais elevados no granulado de cortiça de granulometria inferior – 0,5-1,0 mm), pela percentagem de granulado de cortiça no substrato (tendência de acréscimo do teor de Fe e Mn com o aumento da percentagem de granulado no substrato) e pelo tratamento hidrotérmico (teor mais baixos no granulado tratado). No entanto, a interação tratamento\*percentagem foi significativa (quadro 23), enquanto que a interação a 3 fatores (anexo) não foi significativa.

Relativamente à interação tratamento\*percentagem, observa-se que os teores de Fe e Mn extraíveis aumentam significativamente com o aumento da percentagem de granulado de cortiça no substrato, mas o aumento é bastante superior no caso do granulado não sujeito a tratamento (quadro 23). Este resultado, em concordância com o observado com os macronutrientes, resulta da utilização de água no processo de tratamento e da conseqüente extração dos elementos solúveis em água.

Quanto ao boro extraível, observou-se apenas o efeito significativo da percentagem de granulado de cortiça no substrato, com um acréscimo da disponibilidade de boro com o aumento da percentagem de granulado de cortiça no substrato. A granulometria do granulado e o tratamento hidrotérmico não afetaram de forma significativa o boro extraível (quadro 22).

Os resultados obtidos indicam que o granulado de cortiça disponibiliza Fe, Mn e B em quantidades adequadas para um substrato.

Os resultados indicam ainda que os fatores em estudo não afetaram de forma significativa os teores de zinco e cobre extraíveis.

**Quadro 22:** Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores de ferro (Fe), boro (B), Manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) dos substratos.

	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	B (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Granulometria</b>					
<i>Signif.</i>	**	***	ns	ns	ns
0,5-1,0 mm	0,56 a	0,07 a	0,04	0,21	0,23
1,0-2,0 mm	0,45 b	0,03 b	0,05	0,26	0,22
<b>Percentagem</b>					
<i>Signif.</i>	***	***	ns	ns	**
0%	0,31 b	0,03 b	0,03	0,23	0,11 b
10%	0,37 b	0,03 b	0,05	0,17	0,23 ab
25%	0,41 b	0,05 b	0,05	0,33	0,21 ab
50%	0,92 a	0,09 a	0,05	0,21	0,34 a
<b>Tratamento</b>					
<i>Signif.</i>	***	**	ns	ns	ns
Sem tratamento	0,62 a	0,06 a	0,05	0,23	0,25
Com tratamento	0,38 b	0,04 b	0,04	0,24	0,20

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

**Quadro 23:** Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos teores de ferro (Fe), boro (B), Manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) dos substratos.

Interação	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	B (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Granulometria*Percentagem</b>					
<i>Signif.</i>	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Granulometria*Tratamento</b>					
<i>Signif.</i>	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Tratamento*Percentagem</b>					
<i>Signif.</i>	**	*	ns	ns	ns
<b>Sem tratamento</b>					
0%	0,30 c	0,03 b	0,03	0,20	0,10
10%	0,46 bc	0,03 b	0,05	0,22	0,28
25%	0,59 b	0,06 b	0,06	0,27	0,23
50%	1,15 a	0,12 a	0,06	0,22	0,39
<b>Com tratamento</b>					
0%	0,32 c	0,04 b	0,03	0,26	0,13
10%	0,27 c	0,03 b	0,05	0,13	0,19
25%	0,24 c	0,03 b	0,04	0,38	0,19
50%	0,70 b	0,05 b	0,04	0,20	0,28

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a p<0,05, p<0,01; p<0,001, respetivamente.

#### 4.2.3 Teste de Fitotoxicidade

No quadro 24 estão apresentados os valores obtidos no ensaio de germinação do agrião. A germinação foi de 100% em todos os substratos. Com o índice de germinação de 100% em todos os casos, o índice de crescimento radicular e o índice MLV foram iguais, sendo a variação deste igual à do comprimento das raízes.

O comprimento da raiz foi altamente influenciado pela percentagem de ADT, tendo-se obtido o melhor desempenho no substrato que contém 25% de ADT, sendo que, todos os substratos com ADT obtiveram melhores resultados que o substrato de controlo (turfa), possivelmente devido ao aumento do arejamento.

O efeito do tratamento hidrotérmico ao granulado ADT também influenciou o comprimento da raiz sendo significativamente superior nos substratos que contêm ADT tratado, devido à remoção dos compostos fitotóxicos.

**Quadro 24:** Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade Munoo-Liisa (MLV) dos substratos.

	Índice de Germinação (%)	Comprimento Raiz (cm)	MLV (%)
<b>Granulometria</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm	100	5,60	110,12
1,0-2,0 mm	100	5,50	108,15
<b>Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	***	***
0%	100	4,97 <i>c</i>	97,71 <i>c</i>
10%	100	5,54 <i>b</i>	108,90 <i>b</i>
25%	100	6,13 <i>a</i>	120,52 <i>a</i>
50%	100	5,56 <i>b</i>	109,41 <i>b</i>
<b>Tratamento</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	*	*
Sem tratamento	100	5,41 <i>b</i>	106,44 <i>b</i>
Com tratamento	100	5,69 <i>a</i>	111,84 <i>a</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a  $p<0,05$ ,  $p<0,01$ ;  $p<0,001$ , respetivamente.

A interação granulometria\*percentagem afetou significativamente o comprimento da raiz. É possível utilizar uma maior percentagem de granulado ADT nos substratos sem haver um decréscimo significativo no comprimento das raízes, caso o granulado tenha a granulometria superior (1,0-2,0 mm).

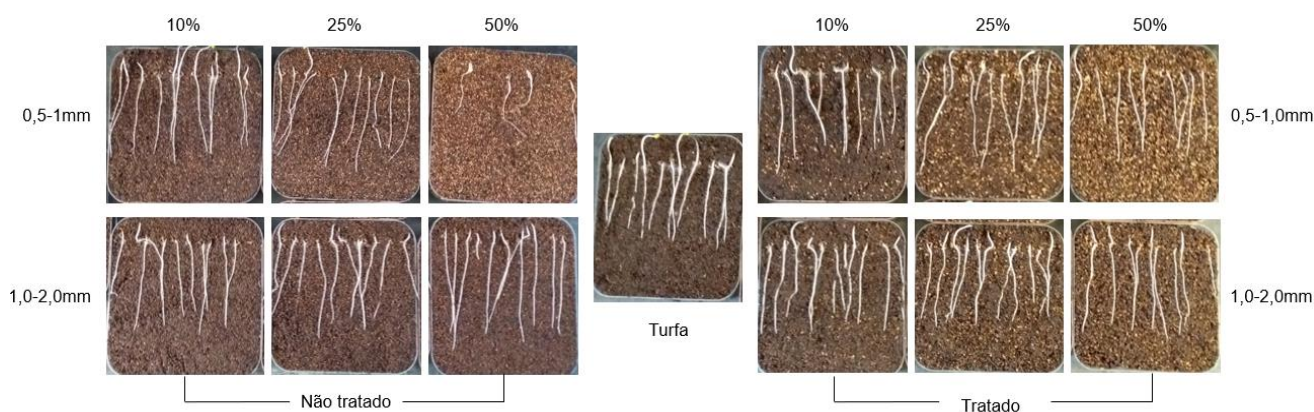
A interação tratamento\*percentagem foi altamente significativa tanto para o comprimento da raiz como o índice MLV, sendo possível substituir uma maior percentagem de turfa caso o ADT tenha sido sujeito ao tratamento hidrotérmico (quadro 25).

**Quadro 25:** Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) no índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade Munoo-Liisa (MLV) dos substratos.

Interação	Índice de Germinação (%)	Comprimento Raiz (cm)	MLV (%)
<b>Granulometria*Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>*</i>	<i>*</i>
<b>0,5-1,0 mm</b>			
0%	100	4,84 <i>d</i>	95,13 <i>d</i>
10%	100	5,79 <i>abc</i>	113,92 <i>abc</i>
25%	100	6,33 <i>a</i>	124,41 <i>a</i>
50%	100	5,44 <i>bcd</i>	107,04 <i>bcd</i>
<b>1,0-2,0 mm</b>			
0%	100	5,10 <i>cd</i>	100,28 <i>cd</i>
10%	100	5,28 <i>bcd</i>	103,89 <i>bcd</i>
25%	100	5,93 <i>ab</i>	116,64 <i>ab</i>
50%	100	5,68 <i>abc</i>	111,79 <i>abc</i>
<b>Granulometria*Tratamento</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
<b>Tratamento*Percentagem</b>			
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>	<i>***</i>	<i>***</i>
<b>Sem tratamento</b>			
0%	100	4,94 <i>d</i>	97,10 <i>d</i>
10%	100	5,72 <i>abc</i>	112,54 <i>abc</i>
25%	100	6,15 <i>a</i>	121,00 <i>a</i>
50%	100	4,84 <i>d</i>	95,10 <i>d</i>
<b>Com tratamento</b>			
0%	100	5,00 <i>cd</i>	98,32 <i>cd</i>
10%	100	5,35 <i>bcd</i>	105,27 <i>bcd</i>
25%	100	6,10 <i>ab</i>	120,05 <i>ab</i>
50%	100	6,29 <i>a</i>	123,72 <i>a</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a  $p<0,05$ ,  $p<0,01$ ;  $p<0,001$ , respetivamente.

Na figura 9 está indicado o resultado de uma das repetições ao teste de fitotoxicidade realizado aos substratos.



**Figura 9:** Repetição do teste de fitotoxicidade aos substratos.

## 4.3 Ensaio couve-chinesa

### 4.3.1 Germinação e crescimento das plantas

Os 3 fatores (granulometria do granulado, percentagem do granulado no substrato e tratamento hidrotérmico) não influenciaram a taxa de germinação, visto que as diferenças encontradas não são significativas para nenhum dos fatores testados (quadro 26). A taxa de germinação, apesar de elevada, foi inferior a 95% em todas as modalidades.

**Quadro 26:** Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na taxa de germinação dos substratos.

Taxa Germinação (%)	
Granulometria	
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm	84,90
1,0-2,0 mm	80,47
Percentagem	
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>
0%	83,33
10%	81,25
25%	81,25
50%	84,90
Tratamento	
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>
Sem tratamento	83,07
Com tratamento	82,29

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ). ns não significativo.

As interações entre os diversos fatores também não foram significativas para a taxa de germinação (quadro 27).

**Quadro 27:** Efeito das interações a 2 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) na taxa de germinação dos substratos.

Interação	Taxa Germinação (%)
Granulometria*Percentagem	
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>
Granulometria*Tratamento	
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>
Tratamento*Percentagem	
<i>Signif.</i>	<i>ns</i>

ns não significativo.



No quadro 28 são apresentados os valores médios do peso fresco e do peso seco (por vaso e por planta) da parte aérea da couve-chinesa, bem como a avaliação visual do crescimento das raízes, consoante as características dos substratos.

A granulometria do granulado ADT, percentagem de granulado ADT e tratamento hidrotérmico afetaram significativamente todos os parâmetros de crescimento das plantas avaliados.

Em relação à granulometria do granulado ADT presente nos substratos, obteve-se uma maior produção de biomassa (tanto peso fresco como peso seco) e uma maior pontuação na avaliação das raízes no granulado de cortiça de maior granulometria (1,0-2,0 mm), possivelmente devido à melhoria das propriedades físicas (4.2.1) e à menor fitotoxicidade deste granulado (4.2.3).

Quanto à percentagem de granulado ADT no substrato, observou-se uma tendência para a diminuição dos parâmetros de crescimento avaliados com o aumento da percentagem de granulado ADT nos substratos.

O tratamento hidrotérmico ao granulado de cortiça teve um impacto positivo e significativo no crescimento das plantas, uma vez que as plantas que cresceram nos substratos com granulado ADT tratado obtiveram pesos superiores, bem com uma melhor avaliação do sistema radicular. Este resultado será devido à remoção dos compostos fitotóxicos com o tratamento hidrotérmico, estando de acordo com a menor fitotoxicidade observada nos granulados de cortiça tratados (4.1.3).

**Quadro 28:** Efeito dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos valores médios para caracterizar o crescimento da couve-chinesa: peso fresco da parte aérea (PF por vaso e por planta), peso seco da parte aérea (PS por vaso e por planta) e a avaliação visual da raiz.

	PF (g vaso <sup>-1</sup> )	PS (g vaso <sup>-1</sup> )	PF (g planta <sup>-1</sup> )	PS (g planta <sup>-1</sup> )	Avaliação Raiz (0-5)
<b>Granulometria</b>					
<i>Signif.</i>	***	***	***	***	***
0,5-1,0 mm	16,30 <i>b</i>	2,22 <i>b</i>	2,72 <i>b</i>	0,37 <i>b</i>	2,83 <i>b</i>
1,0-2,0 mm	22,07 <i>a</i>	3,04 <i>a</i>	3,68 <i>a</i>	0,51 <i>a</i>	3,71 <i>a</i>
<b>Percentagem</b>					
<i>Signif.</i>	***	***	***	***	***
0%	27,34 <i>a</i>	3,90 <i>a</i>	4,61 <i>a</i>	0,65 <i>a</i>	4,14 <i>a</i>
10%	25,84 <i>a</i>	3,61 <i>b</i>	4,31 <i>a</i>	0,60 <i>b</i>	4,44 <i>a</i>
25%	17,94 <i>b</i>	2,36 <i>c</i>	2,99 <i>b</i>	0,39 <i>c</i>	3,36 <i>b</i>
50%	5,32 <i>c</i>	0,66 <i>d</i>	0,89 <i>c</i>	0,11 <i>d</i>	1,14 <i>c</i>
<b>Tratamento</b>					
<i>Signif.</i>	***	***	***	***	***
Sem tratamento	16,31 <i>b</i>	2,21 <i>b</i>	2,72 <i>b</i>	0,37 <i>b</i>	2,73 <i>b</i>
Com tratamento	22,06 <i>a</i>	3,06 <i>a</i>	3,68 <i>a</i>	0,51 <i>a</i>	3,80 <i>a</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ). \*, \*\*, \*\*\* significativo a  $p<0,05$ ,  $p<0,01$ ;  $p<0,001$ , respetivamente.

Apesar do efeito significativo dos fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de granulado ADT e tratamento hidrotérmico) no crescimento das plantas avaliados, verificou-se que a interação a 3 fatores foi significativa para todos os parâmetros de crescimento avaliados (quadro 29).

Considerando a granulometria, observa-se uma maior redução do crescimento das plantas nos substratos contendo granulado de menor granulometria (0,5-1,0 mm), mais evidente nas percentagens mais elevadas e no granulado ADT não tratado (quadro 29). Por exemplo, nos substratos com 25% de granulado ADT não tratado, obteve-se um peso fresco por vaso de 0,12 g no granulado ADT 0,5-1,0 mm enquanto que no granulado ADT 1,0-2,0 mm o peso fresco obtido foi 22,61 g Este resultado está de acordo com os resultados anteriormente obtidos (4.1.3.), que indicavam uma maior toxicidade do granulado ADT de menor granulometria (0,5-1,0 mm).

**Quadro 29:** Efeito das interação a 3 fatores (granulometria do granulado ADT, percentagem de ADT no substrato e tratamento hidrotérmico) nos valores médios para caracterizar o crescimento da couve-chinesa: peso fresco da parte aérea (PF por vaso e por planta), peso seco da parte aérea (PS por vaso e planta).

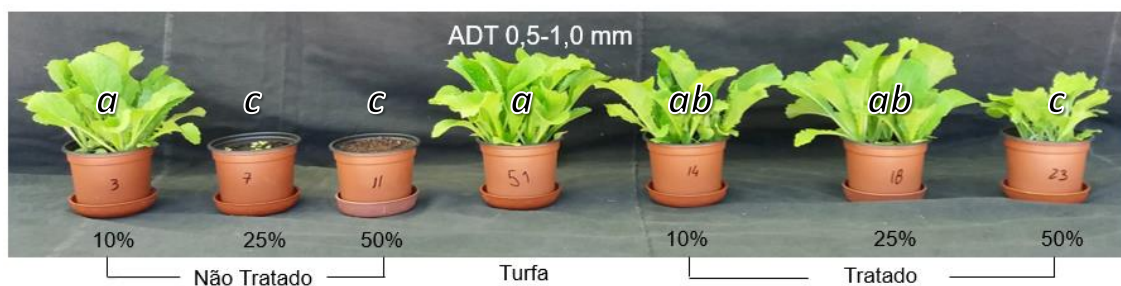
Granulado de cortiça	%	PF (g vaso <sup>-1</sup> )	PS (g vaso <sup>-1</sup> )	PF (g planta <sup>-1</sup> )	PS (g planta <sup>-1</sup> )	Avaliação Raiz (0-5)
		***	***	***	***	***
0,5-1,0 mm sem tratamento	0	26,99 a	3,86 ab	4,50 a	0,65 ab	4,13 a
	10	25,17 a	3,37 abc	4,20 a	0,56 abc	4,63 a
	25	0,12 c	0,01 e	0,02 c	0,00 e	0,00 b
	50	0,00 c	0,00 e	0,00 c	0,00 e	0,00 b
0,5-1,0 mm com tratamento	0	27,03 a	3,78 ab	4,51 a	0,63 ab	3,94 a
	10	24,09 ab	3,36 abc	4,02 ab	0,56 abc	4,75 a
	25	23,38 ab	3,15 bc	3,90 ab	0,53 bc	4,44 a
	50	3,67 c	0,25 e	0,61 c	0,04 e	0,75 b
1,0-2,0 mm sem tratamento	0	27,65 a	3,86 ab	4,61 a	0,65 ab	4,00 a
	10	27,82 a	3,79 ab	4,64 a	0,64 ab	4,56 a
	25	22,61 ab	2,78 cd	3,77 ab	0,47 cd	4,56 a
	50	0,12 c	0,01 e	0,02 c	0,00 e	0,00 b
1,0-2,0 mm com tratamento	0	28,88 a	4,09 a	4,81 a	0,68 a	4,50 a
	10	26,99 a	3,94 a	4,50 a	0,66 a	3,81 a
	25	24,96 a	3,51 abc	4,16 a	0,59 abc	4,43 a
	50	17,49 b	2,37 d	2,92 b	0,40 d	3,81 a

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ). ns não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo a  $p<0,05$ ,  $p<0,01$ ;  $p<0,001$ , respetivamente.

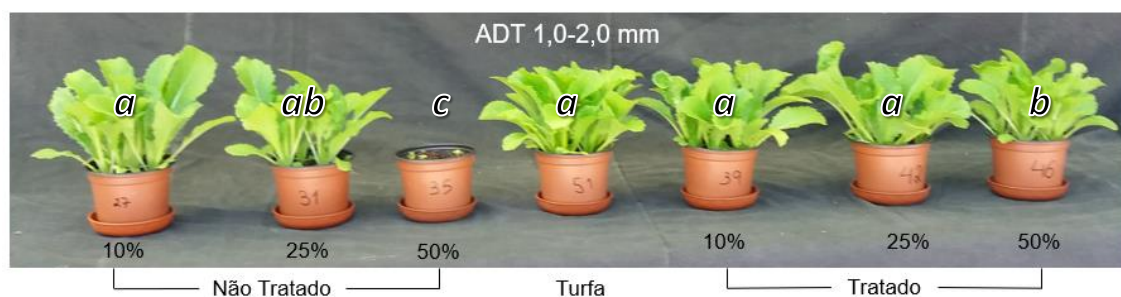
Relativamente ao tratamento hidrotérmico do substrato, observou-se que, para a mesma granulometria e nas percentagens mais elevadas de granulado, o crescimento das plantas foi maior nos substratos com granulado tratado. Por exemplo, nos substratos com 25% de granulado ADT 0,5-1,0 mm não tratado obteve-se um peso fresco por vaso de 0,12 g, enquanto que no mesmo granulado tratado o peso fresco obtido foi 23,38 g. Este resultado está de acordo com os resultados anteriormente obtidos (4.3.1), que indicaram que o tratamento hidrotérmico reduz de forma significativa a toxicidade do granulado ADT.

É, ainda, de destacar, que o crescimento das plantas nos substratos com 10% e 25% de granulado ADT tratado foi estatisticamente igual ao observado nas modalidades apenas com turfa. O mesmo acontece com o granulado ADT 1,0-2,0 mm não tratado. Assim, caso se utilize o granulado ADT de maior granulometria não tratado ou granulado que tenha sido sujeito ao tratamento hidrotérmico, consegue-se substituir até 25% de turfa sem reduzir significativamente o crescimento das plantas.

Visualmente, foi notório o efeito positivo do tratamento hidrotérmico no crescimento das plantas conseguindo-se melhores resultados utilizando o ADT de maior granulometria (figura 10 e 11).



**Figura 10:** Vasos com plantas de couve-chinesa nos diferentes substratos com ADT de 0,5-1,0 mm, 25 dias após a sementeira, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).



**Figura 11:** Vasos com plantas de couve-chinesa nos diferentes substratos com ADT de 1,0-2,0 mm 25 dias após a sementeira, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).

#### 4.3.2 Composição mineral e quantidades exportadas pela parte aérea das plantas

A biomassa extremamente baixa de algumas plantas não permitiu efetuar uma análise posterior da sua composição mineral, nomeadamente nas modalidades B (25% de ADT 1), C (50% de ADT 1) e I (50% de ADT 2).

Adicionalmente as plantas da modalidade F (50% ADT 1T) tiveram um crescimento muito reduzido, mas mesmo assim produzindo quantidade de matéria seca suficiente para a análise do teor de nutrientes, com exceção do azoto. Devido a este crescimento reduzido, os nutrientes ficaram concentrados na parte aérea, apresentando teores de nutrientes na matéria seca superiores aos outros substratos.

No quadro 30, estão apresentados os teores médios de macronutrientes e sódio presentes na parte aérea das plantas. Dado que, os substratos foram fertilizados de igual modo, as diferenças encontradas no teor de nutrientes dos substratos podem não ser refletidas na composição mineral das plantas. Sendo tal notório na influência do tratamento hidrotérmico, que diminui muito significativamente o teor da maioria dos nutrientes nos substratos, porém tal não se verifica na composição mineral das plantas.

Os teores de azoto das modalidades não diferiram entre si, com exceção das modalidades A (10% ADT 1) e K (25% ADT 2T).

Os teores de fósforo e potássio são superiores no substrato F (50% ADT 1T) e menores na turfa, não existindo uma tendência clara com o aumento do granulado ADT, possivelmente devido ao efeito da fertilização.

Não houve diferenças significativas entre modalidades em relação ao teor médio de cálcio.

No teor de magnésio as diferenças foram pouco significativas, notando que à semelhança da análise aos substratos os valores são mais elevados nas plantas que cresceram no substrato com granulado ADT de menor granulometria.

Para o sódio não existe uma tendência clara de aumento ou decréscimo do seu teor nas plantas, sendo que as diferenças são pouco significativas.

Os teores de macronutrientes nas plantas de couve-chinesa encontram-se bastante abaixo do limite recomendado, resultado esperado, devido ao baixo teor destes nos substratos, indicando que a fertilização não foi suficiente.

**Quadro 30:** Teor médio de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (g por kg de matéria seca).

Substrato	N (g kg <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )	Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Na (g kg <sup>-1</sup> )
A	19,58 <i>a</i>	1,45 <i>bcd</i>	12,10 <i>cd</i>	6,94	2,38 <i>ab</i>	1,04 <i>ab</i>
B	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-
D	14,43 <i>ab</i>	1,18 <i>d</i>	8,98 <i>f</i>	6,60	2,37 <i>ab</i>	1,02 <i>ab</i>
E	16,14 <i>ab</i>	1,38 <i>bcd</i>	12,17 <i>bcd</i>	7,09	2,34 <i>ab</i>	0,90 <i>b</i>
F	-	2,68 <i>a</i>	18,72 <i>a</i>	7,64	2,77 <i>a</i>	1,30 <i>a</i>
G	12,52 <i>b</i>	1,21 <i>d</i>	10,40 <i>def</i>	6,67	2,26 <i>b</i>	0,98 <i>b</i>
H	16,18 <i>ab</i>	1,65 <i>bc</i>	14,71 <i>b</i>	7,07	2,31 <i>ab</i>	1,06 <i>ab</i>
I	-	-	-	-	-	-
J	13,23 <i>b</i>	1,14 <i>d</i>	9,47 <i>ef</i>	6,88	2,37 <i>ab</i>	0,93 <i>b</i>
K	10,90 <i>b</i>	1,30 <i>cd</i>	11,68 <i>de</i>	6,51	2,10 <i>b</i>	0,85 <i>b</i>
L	14,96 <i>ab</i>	1,71 <i>b</i>	14,32 <i>bc</i>	7,32	2,19 <i>b</i>	1,10 <i>ab</i>
Turfa	13,11 <i>b</i>	1,21 <i>d</i>	8,47 <i>f</i>	6,37	2,34 <i>ab</i>	1,14 <i>ab</i>
Valores adequados*	31-55	3-7,0	20-40	13-35	2,5-7,5	-

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

\* Valores recomendados na primeira folha completamente desenvolvida (Benton-Jones *et al.*, 1991).

A: 90%Turfa+10%ADT 1, B: 75%Turfa+25%ADT 1, C:50%Turfa+50%ADT, D: 90%Turfa+10%ADT 1T, E: 75%Turfa+25%ADT 1T, F: 50%Turfa+50%ADT 1T, G: 90%Turfa+10%ADT 2, H: 75%Turfa+25%ADT 2, I: 50%Turfa+50%ADT 2, J: 90%Turfa+10%ADT 2T, K: 75%Turfa+25%ADT 2T, L: 50%Turfa+50%ADT 2T.

Os teores dos micronutrientes analisados estão apresentados no quadro 31. Os valores obtidos estão dentro dos intervalos recomendados, com exceção do boro que apresenta concentrações inferiores.

Segundo Caballero *et al.* (2009), o principal fator limitante da utilização da cortiça é a deficiência em ferro, porém isso não se verificou no ensaio visto que os valores de ferro nas plantas não diferem entre si e estão dentro dos valores recomendados. O teor de manganês aumenta com o aumento do granulado de cortiça, sendo que as plantas que cresceram na turfa apresentam os valores mais baixos.

Na análise aos substratos os teores de zinco, cobre e boro não apresentaram diferenças significativas, contudo na análise das plantas o mesmo só se verifica para o cobre. Os teores de zinco aumentaram com a percentagem de granulado ADT, enquanto que os de boro são muito semelhantes entre si, com exceção das modalidades A (10% ADT 1) e F (50% ADT 1T) que apresentam teores significativamente diferentes entre si.

**Quadro 31:** Teor médio de ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) na parte aérea das plantas de couve-chinesa (mg por kg de matéria seca).

Substrato	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )
A	39,77	41,74 <i>cd</i>	29,78 <i>abc</i>	10,88	9,18 <i>a</i>
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
D	32,14	31,58 <i>de</i>	20,35 <i>c</i>	6,78	8,63 <i>ab</i>
E	37,46	49,78 <i>bc</i>	25,81 <i>abc</i>	10,77	8,48 <i>ab</i>
F	29,04	58,29 <i>ab</i>	34,14 <i>a</i>	6,96	5,98 <i>b</i>
G	35,27	37,85 <i>cd</i>	24,61 <i>abc</i>	7,56	7,58 <i>ab</i>
H	34,31	64,12 <i>a</i>	31,52 <i>ab</i>	7,10	8,41 <i>ab</i>
I	-	-	-	-	-
J	35,33	32,91 <i>de</i>	20,88 <i>c</i>	8,02	7,65 <i>ab</i>
K	33,78	43,90 <i>cd</i>	22,71 <i>bc</i>	6,19	7,16 <i>ab</i>
L	39,33	70,53 <i>a</i>	26,35 <i>abc</i>	11,11	7,22 <i>ab</i>
Turfa	33,00	24,90 <i>e</i>	22,12 <i>bc</i>	6,33	7,31 <i>ab</i>
Valores adequados*	30-200	25-200	20-200	4-25	30-100

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

\* Valores recomendados na primeira folha completamente desenvolvida (Benton-Jones *et al.*, 1991).

A: 90%Turfa+10%ADT 1, B: 75%Turfa+25%ADT 1, C:50%Turfa+50%ADT, D: 90%Turfa+10%ADT 1T, E: 75%Turfa+25%ADT 1T, F: 50%Turfa+50%ADT 1T, G: 90%Turfa+10%ADT 2, H: 75%Turfa+25%ADT 2, I: 50%Turfa+50%ADT 2, J: 90%Turfa+10%ADT 2T, K: 75%Turfa+25%ADT 2T, L: 50%Turfa+50%ADT 2T.

As exportações dos diferentes nutrientes pelas plantas estão incluídas nos quadros 32 e 33. Observando-se que quanto maior as suas exportações, também maior é crescimento das plantas (obtendo pesos mais elevados e raízes mais desenvolvidas).

Com exceção do potássio, as plantas que cresceram no substrato F apresentam os valores de exportações mais baixos, explicando a sua baixa produção de biomassa.

As diferenças na exportação de azoto são pouco significativas, somente o substrato G tem uma extração significativamente inferior ao substrato A. Ambos contém 10% de ADT que não foi sujeito ao tratamento hidrotérmico, mas de granulometrias distintas.

O teor de fósforo só é significativamente diferente nas plantas que cresceram no substrato F, sendo significativamente menor.

Quanto ao potássio, ao contrário do verificado nos substratos, não existe um aumento claro deste elemento com o aumento da percentagem de ADT no substrato. Apesar disso as plantas que cresceram em turfa apresentam o menor teor.

A exportação de cálcio e magnésio são opostas à exportação de potássio, isto é, quanto maior a exportação de potássio, menor a de cálcio e de magnésio, possivelmente devido ao efeito de antagonismo iônico entre estes elementos.

Para o sódio não se observa uma tendência clara, sendo que, a turfa apresenta os maiores valores.

**Quadro 32:** Teor médio de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) extraídos por cada vaso ( $\text{g vaso}^{-1}$ ).

Substrato	N ( $\text{g vaso}^{-1}$ )	P ( $\text{g vaso}^{-1}$ )	K ( $\text{g vaso}^{-1}$ )	Ca ( $\text{g vaso}^{-1}$ )	Mg ( $\text{g vaso}^{-1}$ )	Na ( $\text{g vaso}^{-1}$ )
A	5,14 <i>a</i>	4,37 <i>a</i>	3,22 <i>abc</i>	21,00 <i>ab</i>	7,19 <i>abc</i>	3,15 <i>bc</i>
B	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-
D	3,80 <i>ab</i>	3,24 <i>a</i>	2,38 <i>c</i>	18,83 <i>abc</i>	6,70 <i>abc</i>	2,92 <i>bcd</i>
E	4,29 <i>ab</i>	3,72 <i>a</i>	3,17 <i>abc</i>	19,03 <i>abc</i>	6,29 <i>bcd</i>	2,47 <i>cd</i>
F	-	0,76 <i>b</i>	4,29 <i>a</i>	2,19 <i>d</i>	0,77 <i>e</i>	0,39 <i>e</i>
G	3,26 <i>b</i>	4,15 <i>a</i>	2,72 <i>bc</i>	21,87 <i>ab</i>	7,47 <i>abc</i>	3,22 <i>bc</i>
H	4,14 <i>ab</i>	3,89 <i>a</i>	3,78 <i>ab</i>	16,69 <i>bc</i>	5,45 <i>cd</i>	2,51 <i>bcd</i>
I	-	-	-	-	-	-
J	3,62 <i>ab</i>	4,05 <i>a</i>	2,61 <i>bc</i>	24,10 <i>a</i>	8,30 <i>ab</i>	3,28 <i>ab</i>
K	2,84 <i>b</i>	4,16 <i>a</i>	2,98 <i>bc</i>	21,07 <i>ab</i>	6,76 <i>abc</i>	2,72 <i>bcd</i>
L	4,06 <i>ab</i>	3,52 <i>a</i>	3,68 <i>ab</i>	14,48 <i>c</i>	4,37 <i>d</i>	2,20 <i>d</i>
Turfa	3,50 <i>ab</i>	4,28 <i>a</i>	2,13 <i>c</i>	23,84 <i>a</i>	8,67 <i>a</i>	4,00 <i>a</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente ( $p=0,05$ ).

A: 90%Turfa+10%ADT 1, B: 75%Turfa+25%ADT 1, C:50%Turfa+50%ADT, D: 90%Turfa+10%ADT 1T, E: 75%Turfa+25%ADT 1T, F: 50%Turfa+50%ADT 1T, G: 90%Turfa+10%ADT 2, H: 75%Turfa+25%ADT 2, I: 50%Turfa+50%ADT 2, J: 90%Turfa+10%ADT 2T, K: 75%Turfa+25%ADT 2T, L: 50%Turfa+50%ADT 2T.

Apesar da extração de ferro ser menor nos substratos que contêm uma maior percentagem de granulado de cortiça, esta diferença só é significativamente inferior no caso do substrato F, no qual as plantas obtiveram um menor crescimento.

As exportações dos restantes micronutrientes analisados apresentam diferenças pouco significativas.

**Quadro 33:** Teor médio de ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) extraídos por cada vaso (mg vaso<sup>-1</sup>).

Substrato	Fe (mg vaso <sup>-1</sup> )	Mn (mg vaso <sup>-1</sup> )	Zn (mg vaso <sup>-1</sup> )	Cu (mg vaso <sup>-1</sup> )	B (mg vaso <sup>-1</sup> )
A	0,12 <i>a</i>	0,13 <i>ab</i>	0,09 <i>a</i>	0,03 <i>a</i>	0,03 <i>a</i>
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
D	0,09 <i>ab</i>	0,09 <i>b</i>	0,06 <i>bc</i>	0,02 <i>ab</i>	0,03 <i>a</i>
E	0,16 <i>a</i>	0,13 <i>ab</i>	0,07 <i>abc</i>	0,03 <i>a</i>	0,02 <i>ab</i>
F	0,01 <i>b</i>	0,02 <i>c</i>	0,01 <i>d</i>	0,00 <i>b</i>	0,00 <i>c</i>
G	0,12 <i>a</i>	0,13 <i>ab</i>	0,08 <i>ab</i>	0,02 <i>ab</i>	0,02 <i>a</i>
H	0,08 <i>ab</i>	0,15 <i>a</i>	0,08 <i>ab</i>	0,01 <i>ab</i>	0,02 <i>ab</i>
I	-	-	-	-	-
J	0,12 <i>a</i>	0,12 <i>ab</i>	0,07 <i>abc</i>	0,03 <i>a</i>	0,03 <i>a</i>
K	0,11 <i>a</i>	0,14 <i>a</i>	0,07 <i>abc</i>	0,02 <i>ab</i>	0,03 <i>a</i>
L	0,07 <i>ab</i>	0,14 <i>a</i>	0,05 <i>c</i>	0,02 <i>ab</i>	0,01 <i>bc</i>
Turfa	0,12 <i>a</i>	0,09 <i>b</i>	0,08 <i>ab</i>	0,03 <i>a</i>	0,03 <i>a</i>

Em cada coluna, os valores assinalados com a mesma letra não diferem significativamente (p=0,05).

A: 90%Turfa+10%ADT 1, B: 75%Turfa+25%ADT 1, C:50%Turfa+50%ADT, D: 90%Turfa+10%ADT 1T, E: 75%Turfa+25%ADT 1T, F: 50%Turfa+50%ADT 1T, G: 90%Turfa+10%ADT 2, H: 75%Turfa+25%ADT 2, I: 50%Turfa+50%ADT 2, J: 90%Turfa+10%ADT 2T, K: 75%Turfa+25%ADT 2T, L: 50%Turfa+50%ADT 2T.



## 5 Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho permitem retirar as seguintes conclusões:

Os granulados de cortiça ADT revelaram-se fitotóxicos, tendo afetado negativamente o crescimento das raízes de agrião-de-jardim (*Lepidium sativum* L.) e reduzindo, significativamente, o crescimento de couve-chinesa (*Brassica rapa*, ssp. *Pekinensis*), à medida que se aumentou a percentagem de granulado de cortiça no substrato. A fitotoxicidade dos granulados de cortiça foi superior no granulado ADT de menor granulometria (0,5-1,0 mm).

O tratamento hidrotérmico testado reduziu de forma significativa a toxicidade dos granulados de cortiça, com um aumento, significativo, do comprimento das raízes de agrião-de-jardim nos granulados tratados. Nos substratos contendo granulado tratado, quando comparados com os granulados não tratados, houve uma maior produção de biomassa da parte aérea e um maior crescimento das raízes da couve-chinesa.

Os granulados de cortiça afetaram, significativamente, as propriedades físicas da turfa utilizada. A adição de granulado de cortiça à turfa aumentou o arejamento a pF 1 dos substratos obtidos, melhorando, significativamente, esta propriedade. Este aumento do arejamento foi superior no granulado ADT de maior granulometria (1,0-2,0 mm). Em contrapartida, a adição de granulado de cortiça à turfa reduziu a retenção de água nos substratos obtidos. A redução da disponibilidade de água foi menor no granulado de cortiça de menor granulometria (0,5-1,0 mm). Assim, os granulados de cortiça revelaram potencial para serem utilizados como “arejadores” de substratos.

Os granulados de cortiça têm nutrientes disponíveis/extraíveis, sendo de destacar os teores elevados de potássio. A disponibilidade de nutrientes foi superior no granulado de menor granulometria (0,5-1,0 mm). O tratamento hidrotérmico reduziu significativamente a disponibilidade de nutrientes nos granulados de cortiça, uma vez que o mesmo provoca uma “lavagem” dos substratos. No entanto, na composição mineral das plantas de couve-chinesa não revelou estas diferenças, uma vez que todos os substratos/vasos foram fertilizados com uma solução nutritiva completa.

Parece ser possível formular substratos para cultivo sem solo, substituindo 25% da turfa por granulado de cortiça não tratado de maior granulometria (1,0-2,0 mm) ou por granulado de menor granulometria (0,5-1,0 mm) tratado, sem que ocorram decréscimos significativos no crescimento das plantas neles cultivadas. Assim, na formulação de substratos, ao substituir 25% da turfa por granulado de cortiça reduz-se a quantidade utilizada de um material que é

importado e cuja obtenção provoca graves problemas ambientais e valoriza-se um resíduo disponível no país, sem prejudicar a produção.

Será interessante, em investigações futuras:

- Otimizar o processo de tratamento dos granulados de cortiça, nomeadamente a temperatura da água e o tempo de contacto entre a água e o granulado;
- Estudar destinos a dar à água resultante do tratamento hidrotérmico;
- Avaliar a utilização do granulado ADT noutras espécies, nomeadamente espécies menos sensíveis do que as espécies-teste usadas neste trabalho;
- Otimizar a fertilização dos substratos contendo granulados de cortiça, de modo a tirar o máximo partido dos nutrientes veiculados pelos granulados.

## 6 Referências

Abad, M., Martínez-Herrero, M. D., Martínez-García, P. & Martínez-Corts, J., 1992. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de de Horticultura*, pp. 141-154.

Abad, M., Noguera, P. & Burés, S., 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresource Technology*, pp. 197-200.

Abad, M., Noguera, P. & Carrión, C., 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. Em: *Tratado de cultivo sin suelo*. Ediciones Mundi-Prensa, pp. 113-135.

Andriesse, J., 1988. *Nature and management of tropical peat soils*. Food & Agriculture Org.

APCOR, APCOR. [Online]  
Available at: <http://www.apcor.pt>  
[Acedido em 28 12 2019].

Barrett, G., Alexande, P., Robinson, J. & Bragg, N., 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems - A review. Volume 212, pp. 220-234.

Barros, C., 2013. *Produção de Pellets para valorização de resíduos provenientes da indústria corticeira*. Universidade do Minho: Escola de Engenharia.

Bozzolo, A. & Evans, M. R., 2013. Efficacy of cork granulates as a top coat substrate component for seed germination as compared to vermiculite. *Hortechology*, pp. 115-118.

Brito, L. & Mourão, I., 2012. Características dos sustratos para horticultura Composição e características dos constituintes individuais dos sustratos Parte II. *Agrotec Publindústria, LDA*, pp. 64-69.

Brito, L. & Mourão, I., 2012. Características dos sustratos para horticultura: composição e características dos constituintes individuais dos sustratos Parte I. *Agrotec Publindústria, LDA*, pp. 64-69.

Bullock, C., Collier, M. & Convery, F., 2012. Peatlands, their economic value and priorities for their future management – The example of Ireland. *Land Use Policy*, pp. 921-928.

Bunt, A. C., 1976. *Modern Potting Composts: A manual on the Preparation and use of the growing media for pot plants*. Reino Unido: George Allen & Unwin Ltd.

Bunt, A. C., 1983. Physical properties of mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. *Acta Horticulturae*, Issue 150, pp. 143-153.

- Bunt, A. C., 1988. *Media and Mixes for Container-grown Plants*. Londres: Unwin Hyman Ltd.
- Caballero, R. Purificación P; Ordovás, J; Camona, E; Delgado, A., 2009. Evaluation and correction of nutrient availability to *Gerbera jamesonii* H. Bolus in various compost-based growing media. *Scientia Horticulturae*, Volume 122, pp. 244-250.
- Carlie, W. & Wilson, D., 1991. Microbia Activity in Growing Media - A brief review. *Acta Horticulturae*, pp. 197-206.
- Carmona, E., 1998. *Estudio del compost de corcho como sustrato hortícola y silvícola*. PhD Diss.: Univ. Politecnica de Valencia.
- Carmona, E., Ordovás, J., Moreno, M. & Avilés, M., 2003. Hydrological properties of Cork Container Media. *HortScience*, Issue 38, pp. 1235-1241.
- CEN, 1999a. *Soil improvers and growing media, sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN, 1999b. *Soil improvers and growing media, determination of pH*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN, 1999c. *Soil improvers and growing media, determination of electrical conductivity*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN, 1999d. *Soil improvers and growing media - Determination of organic matter content and ash*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN, 2001a. *Soil improvers and growing media - Extraction of aqua regia soluble elements*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN, 2001b. *Soil improvers and growing media - Extraction of water soluble nutrients and elements*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN, 2011a. *Soil improvers and growing media - Determination of physical properties - Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN, 2011b. *Soil improvers and growing media - Determination of plant response - Part 1: Pot growth test with Chinese cabbage*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN, 2011c. *Soil improvers and growing media - Determination of plant response - Part 2: Petri dish test using cress*. Brussels: European Committee for Standardization.
- Chapman, S. Buttler, A; Francez, A.J.; LaggounDefarge, F.; Vasander, H.; Schlöter, M.;

Combe, J.; Grosvernier, P.; Harms, H.; Epron, D.; Gilbert, D.; Mitchell, E.A.D., 2003. Exploitation of northern peatlands and biodiversity maintenance: a conflict between economy and ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* , pp. 525-532.

Chemetova, C.; Fabião, A.; Gominho, J. & Ribeiro, H., 2018. Range analysis of *Eucalyptus globulus* bark low-temperature hydrothermal treatment to produce a new component for growing media industry. *Waste Management*, Issue 79, pp. 1-7.

Chemetova, C.; Mota, D.; Fabião, A.; Gominho, J.; Ribeiro, H., 2017. *Valorization of Eucalyptus globulus bark as a growing-media component for potted plants*. Rhodes, Greece.

De Boodt, M. & Verdonck, O., 1972. The physical properties of substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, pp. 37-44.

Erwin, K., 2009. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management* , pp. 71-84.

Estudos, G. d. e. e., 2019. *Boletim Mensal de Economia Portuguesa*. Gabinete de estratégia e Estudos.

Fascella, G., 2015. Growing substrates alternative to peat for ornamental plants. Em: *Soilless culture-Use of substrates for the production of quality horticultural crops*. InTech Publication, Asaduzzaman, pp. 47-67.

Ferreira, J., 1991. Substratos em horticultura. *O País Agrícola*, p. 12.

Fortes, M., Rosa, M. & Pereira, H., 2004. *A Cortiça*. Lisboa: IST Press.

Grade, S.; Beerling, E.A.M.; Blanco, B; R, Cáceres; Checa, J.G.; Di Lonardo, S; Lemmens, P.; Magán, J.J; Vandecasteele, B; Veberic, R., 2019. Circularity and/or Valorisation of Biomass: Crop Residues, By-products and Extraction of Molecules. *EIP-AGRI*.

Greco, C., Comparetti, A., Mammano, M. & Orlando, S., 2019. *Sustainable, circular and innovative value chains using growing substrata alternative to peat for the cultivation of nutraceutical species*. Lituânia.

Gruda, N., 2019. Increasing Sustainability of Growing MediaAgronomy. p. 9.

Horneck, D. & Miller, R., 1998. Determination of Total Nitrogen in Plant Tissue.. Em: Y. Kalra, ed. *Handbook of Reference Methods for Plant analysis*. New York: CRC Press, pp. 75-83.

Houba, V. J. G., Van der Lee, J., Novozamsky, I. & Walling, I., 1989. *Soil and Plant Analysis, Part 5. Soil Analysis Procedures.*, Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University.

- ICNF, 2013. *IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal*. Lisboa.
- INIAP, 2006. *Manual de Fertilização das Culturas*. Lisboa: INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva.
- Kimmel, K. & Mander, Ü., 2010. Ecosystem services of peatlands: Implications for restoration. *Progress in Physical Geography*, pp. 491-514.
- Korhonen, J., Honkasalo, A. & Seppälä, J., 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, pp. 37-46.
- Landis, T., Jacobs, D., Wilkinson, K. & Luna, T., 2014. *Growing Media*. Washington, Estados Unidos da América: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Lemaire, F., 1995. Physical, chemical and biological properties of growing médium. *Acta Horticulturae*, pp. 273-284.
- Lemaire, F., Dartigues, A., Rivière, L. & Charpentier, S., 1989. *Cultures en pots et conteneurs*, p. 184.
- Lobo, M. & Dorta, E., 2019. Utilization and Management of Horticultural Waste. Em: *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*. Woodhead Publishing, pp. 639-666.
- López, C., 2005. *Fertirrigación – Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa..
- Miner, J., 1994. *Substratos: propiedades e caracterizacion*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Moreno, M., Ortega, M., Ordovás, J. & Aguado, M., 1995. *Características Químicas del Sustrato de Corcho*. Sevilla: Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetal.
- Ordovás, J., Carmona, E., Moreno, T. & Ortega, M., 1996. Characteristics of Internal Porosity of Cork Container Media. *HortScience*, Issue 31, pp. 1177-1179.
- Ortega, M., Moreno, M. & Ordovás, J., 1993. *Utilización de los residuos de la industria del corcho como sustrato hortícola*. Pontevedra, In Congreso Forestal Español, pp. 257-262.
- Ortega, M., Moreno, M., Ordovás, J. & Aguado, M., 1996. Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Scientia horticulturae*, Volume 66, pp. 125-132.
- Paavilainen, E. & Päivänen, J., 1995. *Peatland forestry, ecology end principles*. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag.

- Pereira, H., 2007. *Cork: Biology, Production and Uses*. Amsterdam: Elsevier.
- Poeiras, A., 2015. *Desenvolvimento de protótipos para pavimento e revestimento de parede em interiores com base em cortiça*. Universidade de Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.
- Raviv, M., Chen, Y. & Inbar, Y., 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants. Em: *The role of organic matter in modern agriculture*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, pp. 257-287.
- Reis, M., 2009. Em busca do substrato ideal. *Vida Rural*, Issue 1752, pp. 38-40.
- Ribeiro, D., Ribeiro, H. & Louro, V., 2001. Produção em Viveiros Florestais. *Direção-Geral de Desenvolvimento Rural*, pp. 85-117.
- Robertson, R., 1993. Peat, horticulture and environment. *Biodiversity and Conservation*, pp. 541-547.
- Schmitz, J., Souza, P. & Kämpf, A., 2002. Physical and chemical properties of substrats with mineral and organic origin for growth of otted plants. *Ciência Rural*, pp. 937-944.
- Silva, J., 2007. *Os montados, muito para além das árvores*. Lisboa: Público e Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.
- Silva, J., 2018. *Valorização de resíduos da indústria corticeira na formulação de substratos para produção de plantas*. Lisboa.
- Silva, J.; Phillips, L.; Jones, W.; Eldridge, J.; O'Hara, E., 2007. *Life and Europe's wetlands, Restoring a vital ecosystem*. Bruxelas: Office for Official Publications of the European Communities.
- Sterrett, S., 2005. Los compost como sustratos para la horticultura en la producción de material de transplante. Em: *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Madrid, Barcelona, México.: Ediciones Mundi-Prensa, pp. 227-260.
- Verdonck, O. & Demeyer, P., 2004. The influence of the particle size on the physical properties of growing media.. *Acta Horticulturae*, Issue 644, pp. 99-101.
- Verdonck, O. & Gabriels, R., 1992. Reference Method for the Determination of Physical Properties of Plant Substrates. II. Reference Method for the Determination of Chemical Properties of Plant Substrates.. *Acta Horticulturae*, Issue 302, pp. 169-179.
- Wallach, R., 2008. Physical Characteristics of Soilless Media.. Em: M. Raviv & L. J. Heinrich, edits. *Soilless Culture*. Elsevier, pp. 41-108.

Warncke, D. D. & Krauskopf, D. M., 1983. *Greenhouse Growth Media: Testing & Nutrition Guidelines*. Michigan State University.

Wilson, G., 1984. The Physico-Chemical and Physical Properties of Horticultural Substrates. *Acta Horticulturae*, pp. 19-32.



## Anexo I

**Quadro 1:** Efeito da interação dos 3 fatores (granulometria, percentagem de ADT e tratamento hidrotérmico) na massa volúmica aparente, porosidade total e contratilidade dos substratos.

Granulado de cortiça	%	Massa Volúmica Aparente (g dm <sup>-3</sup> )	Porosidade Total (%)	Contratilidade (%)
		<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm <i>sem</i> <i>tratamento</i>	0	86,10	94,57	36,45
	10	107,70	93,17	35,58
	25	233,13	85,19	31,53
	50	166,50	89,36	25,87
0,5-1,0 mm <i>com</i> <i>tratamento</i>	0	86,13	94,56	37,32
	10	97,87	93,81	34,70
	25	112,30	92,86	32,96
	50	136,60	91,31	29,45
1,0-2,0 mm <i>sem</i> <i>tratamento</i>	0	86,50	94,54	37,97
	10	105,87	93,29	35,05
	25	121,73	92,26	32,49
	50	174,10	88,96	22,01
1,0-2,0 mm <i>com</i> <i>tratamento</i>	0	86,73	94,53	38,92
	10	95,50	93,96	36,45
	25	113,83	92,78	32,06
	50	137,77	91,25	24,68

**Quadro 2:** Efeito da interação dos 3 fatores (granulometria de ADT, percentagem de ADT e tratamento hidrotérmico) na retenção de água a pF 1, pF 1,7 e pF 2 dos substratos.

Granulado de cortiça	%	Retenção de água (%)		
		pF 1	pF 1,7	pF 2
		<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm sem tratamento	0	84,65	48,62	40,78
	10	84,31	48,01	39,88
	25	68,52	35,50	29,38
	50	68,65	40,15	38,50
0,5-1,0 mm com tratamento	0	84,87	58,60	40,04
	10	85,18	49,18	40,66
	25	82,18	45,66	38,94
	50	77,58	43,57	38,62
1,0-2,0 mm sem tratamento	0	85,36	58,83	39,83
	10	84,14	50,02	40,85
	25	77,01	44,87	38,81
	50	54,10	35,99	33,20
1,0-2,0 mm com tratamento	0	85,51	59,76	40,32
	10	82,13	47,43	39,19
	25	80,12	47,07	39,15
	50	61,28	41,40	37,19

**Quadro 3:** Efeito da interação dos 3 fatores (granulometria de ADT, percentagem de ADT e tratamento hidrotérmico) no arejamento a pF 1, água disponível, água facilmente disponível e água de reserva dos substratos.

Granulado de cortiça	%	Arejamento a pF 1 (%, v v <sup>-1</sup> )	Água Facilmente Disponível (%, v v <sup>-1</sup> )	Água de Reserva (%, v v <sup>-1</sup> )	Água Disponível (%, v v <sup>-1</sup> )
		<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm sem tratamento	0	9,92	36,03	7,84	43,87
	10	8,86	36,30	8,13	44,43
	25	16,67	33,02	6,12	39,14
	50	20,71	28,50	1,65	30,14
0,5-1,0 mm com tratamento	0	9,69	26,27	18,57	44,84
	10	8,63	36,00	8,52	44,52
	25	10,68	36,53	6,71	43,24
	50	13,73	34,01	4,95	38,96
1,0-2,0 mm sem tratamento	0	9,19	26,52	19,00	45,53
	10	9,15	34,13	9,17	43,29
	25	15,25	32,15	6,06	38,21
	50	34,86	18,11	2,79	20,90
1,0-2,0 mm com tratamento	0	9,02	25,75	19,44	45,19
	10	11,84	34,70	8,24	42,93
	25	12,67	33,05	7,91	40,96
	50	29,97	19,89	4,21	24,10

**Quadro 4:** Efeito da interação dos 3 fatores (granulometria de ADT, percentagem de ADT e tratamento hidrotérmico) no pH e condutividade elétrica (CE) dos substratos.

Granulado de cortiça	%	pH	CE (mS cm <sup>-1</sup> )
		<i>ns</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm sem tratamento	0	5,65	0,08
	10	6,07	0,09
	25	5,96	0,08
	50	5,91	0,10
0,5-1,0 mm com tratamento	0	5,36	0,12
	10	5,66	0,08
	25	5,63	0,07
	50	5,90	0,05
1,0-2,0 mm sem tratamento	0	5,36	0,12
	10	5,65	0,09
	25	5,82	0,08
	50	5,98	0,07
1,0-2,0 mm com tratamento	0	5,65	0,09
	10	5,65	0,08
	25	5,68	0,07
	50	5,92	0,04

**Quadro 5:** Efeito da interação dos 3 fatores (granulometria do ADT, percentagem de ADT e tratamento hidrotérmico) nos teores de ferro (Fe), boro (B), Manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) dos substratos.

Granulado de cortiça	%	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Bo (mg L <sup>-1</sup> )	Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )
		<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	**
0,5-1,0 mm sem tratamento	0	0,13	0,04	0,04	0,03	0,23 <i>ab</i>
	10	0,30	0,05	0,05	0,05	0,34 <i>ab</i>
	25	0,23	0,09	0,09	0,06	0,17 <i>ab</i>
	50	0,36	0,16	0,16	0,06	0,12 <i>ab</i>
0,5-1,0 mm com tratamento	0	0,13	0,04	0,04	0,03	0,23 <i>ab</i>
	10	0,22	0,04	0,04	0,06	0,01 <i>b</i>
	25	0,25	0,04	0,04	0,03	0,45 <i>a</i>
	50	0,20	0,09	0,09	0,04	0,15 <i>ab</i>
1,0-2,0 mm sem tratamento	0	0,06	0,02	0,012	0,04	0,18 <i>ab</i>
	10	0,26	0,02	0,02	0,06	0,10 <i>ab</i>
	25	0,24	0,03	0,03	0,07	0,38 <i>ab</i>
	50	0,43	0,09	0,09	0,06	0,33 <i>ab</i>
1,0-2,0 mm com tratamento	0	0,13	0,03	0,03	0,03	0,29 <i>ab</i>
	10	0,17	0,03	0,03	0,03	0,25 <i>ab</i>
	25	0,13	0,03	0,03	0,04	0,32 <i>ab</i>
	50	0,37	0,02	0,02	0,05	0,26 <i>ab</i>

**Quadro 6:** Efeito da interação dos 3 fatores (granulometria do ADT, percentagem de ADT e tratamento hidrotérmico) no índice de germinação, comprimento das raízes e Índice de Vitalidade Munoo-Liisa (MLV) dos substratos.

Granulado de cortiça	%	Índice de germinação (%)	Comprimento Raiz (cm)	MLV (%)
		<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
0,5-1,0 mm sem tratamento	0	100	4,84	95,20
	10	100	5,89	115,92
	25	100	6,28	123,59
	50	100	4,42	87,00
	0	100	4,83	95,07
0,5-1,0 mm com tratamento	10	100	5,69	111,92
	25	100	6,37	125,23
	50	100	6,46	127,07
	0	100	5,03	99,00
	10	100	5,55	109,17
1,0-2,0 mm sem tratamento	25	100	6,02	118,41
	50	100	5,25	103,20
	0	100	5,16	101,56
	10	100	5,01	98,61
	25	100	5,84	114,87
1,0-2,0 mm com tratamento	50	100	6,12	120,38

**Quadro 7:** Efeito da interação dos 3 fatores (granulometria do ADT, percentagem de ADT e tratamento hidrotérmico) na taxa de germinação dos substratos.

Granulado de cortiça	%	Taxa Germinação (%)
		<i>ns</i>
0,5-1,0 mm sem tratamento	0	83,34
	10	85,42
	25	87,50
	50	79,17
	0	87,50
0,5-1,0 mm com tratamento	10	91,67
	25	83,34
	50	81,25
	0	83,33
	10	77,08
1,0-2,0 mm sem tratamento	25	79,17
	50	89,59
	0	79,17
	10	70,83
	25	75,00
1,0-2,0 mm com tratamento	50	89,59